



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBY ZÁVITŮ ZÁVITNÍKY

PRODUCTION OF THREADS WITH TAPS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Ildar Nasyrov

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

BRNO 2017

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Bc. Ildar Nasyrov
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie a průmyslový management
Vedoucí práce:	prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Akademický rok:	2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Výroby závitů závitníky

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Výroby závitů závitníky, teorie konstrukce nástrojů pro řezání závitů, účinek povlakování a aplikace procesních kapalin. Po teoretickém rozboru technologie výroby závitů a experimentálních pracích budou vyhodnoceny dosažené technologické a ekonomické parametry s rozбором dosažené kvality a další optimalizace výroby.

Cíle diplomové práce:

1. Teoretický rozbor rozložení průřezu třísky při aplikaci závitníků.
2. Analýza měrných řezných sil při řezání závitů.
3. Návrh experimentů, jejich realizace.
4. Rozbor výsledků, diskuze.

Seznam literatury:

FROMENTIN, G., POULACHON, A., MOISAN, B., JULIEN, J., GIESSLER AGAPIOU, J.S., Precision and surface integrity of threads obtained by form tapping. CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 54, Issue 1, 2005, Pages 519-522.

AGAPIOU, J.S., Evaluation of the effect of high speed machining on tapping, Journal of Manufacturing Science & Engineering Technology, ASME, 1994, pp. 457-462.

IVANOV, V., KIROV, V. Rolling of internal threads: Part 1, Journal of Materials Processing Technology, 1996, 72, pp. 214-220.

CHOWDHARY, S., KAPOOR, S.G., DeVor, R.E., Modeling forces including elastic recovery for internal thread forming, Journal of Manufacturing Science & Engineering, ASME, 2003, 125, pp. 681-688.

CHANDRA, R., DAS, S.C., Forming taps and their influence on production, Journal of India Engineering, 1975, pp. 244-249.

FROMENTIN, G., POULACHON, G., MOISAN, A. Thread forming tapping of alloyed steel, ICME Proceedings, Naples, Italy, 2002, pp. 115-118.

FROMENTIN, G., POULACHON, G., MOISAN, A., Metalurgical aspects in cold forming tapping, NCMR Proceedings, Leeds, UK, 2002, pp. 373-377.

HENDERER, W.E., VON TURKOVICH, B.F. Theory of the cold forming tap, Annals of the CIRP, 1974, pp. 51-52.

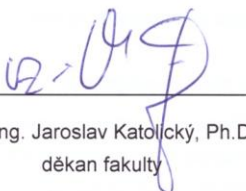
DVOŘÁK M., PROKOP J. Technologické aspekty válcování závitů. In. FORM 2006 Brno. Proceedings of the 8th Intern. Conference Forming Technology, Tools and Machines. 1st ed. Brno, Brno University of Technology Department of Metal Forming and Trade Fairs Brno, September 19-20, 2006. Vol. 1. p 2/1-2/6. ISBN 80-214-3231-4.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17.

V Brně, dne 6. 11. 2016



prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.
ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

V teoretické části této diplomové práce jsou popsány druhy závitů, způsoby výroby a kontroly závitů, druhy závitníků, druhy povlaků a řezných kapalin, analýza měrných řezných sil při řezání závitů a teoretický rozbor rozložení průřezu třísky při aplikaci závitníků. Experimentální část této diplomové práce pojednává o výrobě vnitřních závitů řezacím závitníkem při konstantních řezných podmínkách. Při experimentu byl měřen průběh řezného momentu v závislosti na čase. Po provedení experimentu byly vyhodnoceny naměřené hodnoty, které byly statisticky zpracovány, a v jejich důsledku byl proveden výpočet ceny výroby jednoho závitu.

Klíčová slova

závity, závitníky, výroba vnitřních závitů, kontrola závitu.

ABSTRACT

In the theoretical part of this thesis are described types of threads, methods of production and control of threads, types of taps, types of coatings and cutting fluids, analysis of specific cutting forces during thread cutting and theoretical analysis of the cross-section distribution by taps using. The experimental part of this thesis includes the production of internal threads by cutting tap at constant cutting conditions. The cutting time was measured according to function of time during the experiment. The measured data were statistically processed and, as a result, the cost of one thread production was calculated.

Key words

Threads, taps, production of internal threads, thread control

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

NASYROV, ILDAR. *Výroby závitů závitníky*. Brno 2017. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 68 s. 1 příloha. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Výroby závitů závitníky** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Bc. ILDAR NASYROV

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu prof. Ing. Miroslavu Píškovi, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce. Ještě bych chtěl poděkovat Jihomorovskému Centru pro mezinárodní mobilitu, které mě pomohlo nastoupit na univerzitu. Také děkuji všem učitelům za pomoc a trpělivost. Děkuji děkanovi fakulty FSI, který dal příležitost studovat na této nádherné univerzitě. Nikdy nezapomenu na tento nádherný čas strávený v České republice a na univerzitě.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ.....	6
OBSAH	7
ÚVOD.....	8
1 ZÁVITY	10
1.1 Druhy závitů.....	10
1.1.1 Spojovací závity.....	10
1.1.2 Pohybové závity.....	13
2 ZPŮSOBY VÝROBY ZÁVITŮ.....	16
2.1 Třískové obrábění.....	17
2.1.1 Řezání.....	17
2.1.2 Soustružení.....	18
2.1.3 Frézování.....	20
2.1.4 Broušení.....	21
2.2 Tváření závitů.....	22
3 KONTROLA ZÁVITŮ.....	25
4 ZÁVITNÍKY	32
4.1 Rozdělení závitníků.....	32
4.2 Povlakování.....	34
4.3 Řezné kapaliny.....	38
5 MĚRNÉ ŘEZNÉ SÍLY PŘI ŘEZÁNÍ ZÁVITŮ.....	40
6 ROZLOŽENÍ PRŮŘEZU TŘÍSKY PŘI APLIKACI ZÁVITNÍKŮ.....	43
7 EXPERIMENTÁLNÍ ZKOUŠKY	52
7.1 Metodika experimentu.....	52
7.2 Provedení zkoušky, dosažené výsledky a diskuze experimentu.....	56
7.3 Výpočet ceny výroby jednoho závitu	59
ZÁVĚR.....	61
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	62
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	65
SEZNAM PŘÍLOH.....	68

ÚVOD

Asi nejspolehlevějším prostředkem pro spojování součástí je spojení pomocí závitníků. V případě, když se nějaká věc pokazí, nejprve je nutno se zaměřit na to, aby byla vyměněna vadná součástka a případně připevněna šroubem. Toto šroubové spojení (obr. 1,2,3) má kromě životnosti a pevnosti také tu dobrou vlastnost, že je rozebíratelné. To mnohdy hraje nejvýznamnější roli při volbě daného typu spojení.

Závity jsou tvořeny šroubovou drážkou se stálým průřezem, která je vyhloubena na vnějším nebo vnitřním konickém nebo cylindrickém povrchu. Takto můžeme spojovat součástky anebo převádět kruhový pohyb na přímočarý či naopak. Toto zařízení se používá v mnohých mechanismech a strojích.

Závity bývají jednochodé, tvořené jednou spirálovou drážkou, nebo vícechodé, tvořené dvěma nebo více drážkami. Podle smyslu otáčení jsou pravé a levé. Podle metrické soustavy se dělí na metrické a palcové.

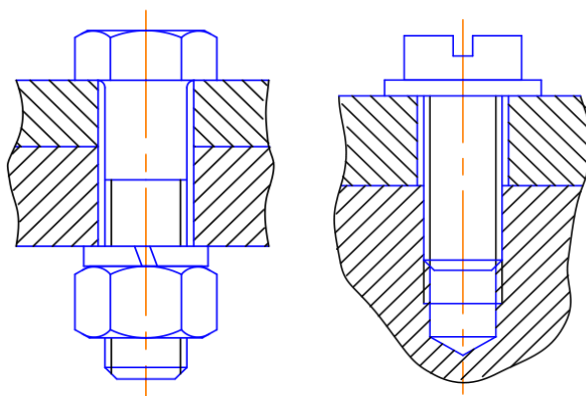
Každý závit je charakterizován těmito parametry:

- profil (metrický),
- úhel profilu [°],
- stoupání [P],
- hloubka [t],
- vnější a vnitřní průměr (d_1 a d_2).

Šroubový spoj je jeden ze základních a univerzálních konstrukčních prvků. Tyto spoje se používají pro spojování konstrukcí nebo jejich částí a dílů. Pro toto spojení se používá šroub, případně svorník a matice. Eventuálně jedna nebo obě složky.

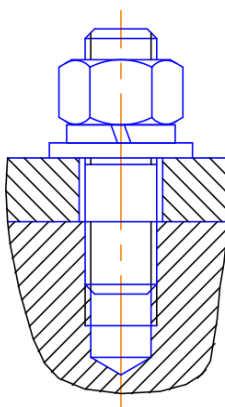
Existují tyto druhy šroubových spojů:

- šroub s hlavou a maticí (obr. 1),
- šroub s hlavou bez matice (obr. 2),
- závrtný šroub bez hlavy (obr. 3).



Obr. 1 Šroub s hlavou a maticí.

Obr. 2 Šroub s hlavou bez matice.



Obr. 3 Závrtný šroub bez hlavy.

Výroba závitů podle různých rozměrů a typů se provádí podle jistých pravidel, stanovených v průběhu mnohých let. Pro výrobu závitů používáme závitníky (obr. 4).



Obr. 4 Ukázka strojních závitníků [5].

1 ZÁVITY

Závity jsou důležitými konstrukčně technologickými jednotkami strojírenských součástí, které plní nejrůznější spojovací funkce, umožňujícími nejrůznější pohyb. Závity mohou být vyrobeny pomocí závitníků, závitových hlav (obr. 5) a čelistí (obr. 6) [1, 2].



Obr. 5 Závitové hlavy [1].



Obr. 6 Závitové čelisti [1].

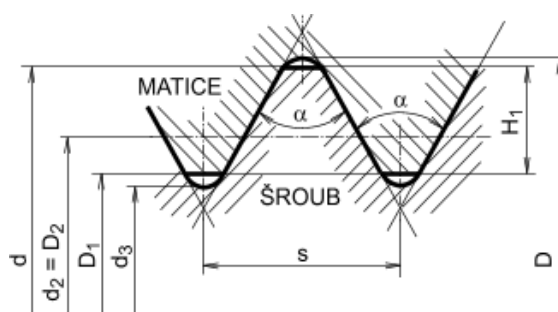
1.1 Druhy závitů

Závit je základním prvkem každého šroubu nebo matice. Jejich tvary a velikosti se řídí normami a výrobními předpisy. Závity se dělí podle funkce do dvou skupin: na závity spojovací a pohybové. Na běžných šroubech a maticích jsou vždy závity spojovací (obvykle metrické), naproti tomu pohybové závity se používají ve zcela specifických případech – např. pojezdy suportů u soustruhů [7, 11].

1.1.1 Spojovací závity:

- *metrický závit*

S metrickým závitem (obr. 7) je možno se setkat všude tam, kde je zapotřebí šroubů, například: ve strojírenství, v automobilovém průmyslu atd. Vyrábí se ve dvou rozměrově normalizovaných řadách – v řadě základní a v řadě s jemným stoupáním. Označují se písmenem M a velkým průměrem závitu – např.: M 24. Při použití závitu s jemným stoupáním přidáváme údaj o jeho stoupání – např.: M 20 × 1,5 [6, 7, 11].



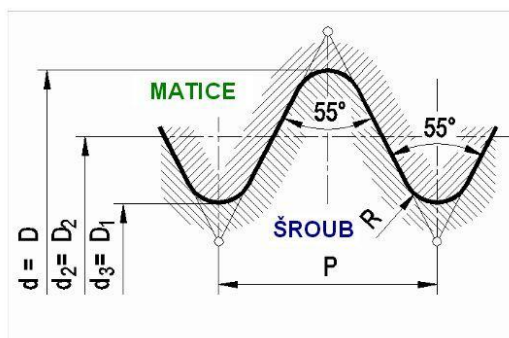
Obr. 7 Metrický závit [10].

kde:

- d - velký průměr šroubu ($d \approx D$),
- d_2 - střední průměr závitu šroubu,
- d_3 - malý průměr šroubu,
- D - velký průměr matice ($D \approx d$),
- D_1 - malý průměr matice,
- D_2 - střední průměr závitu matice,
- s - stoupání ($s = n \cdot t$; t - rozteč, n - počet chodů),
- H_1 - nosná hloubka závitu.

- *Withwortův závit*

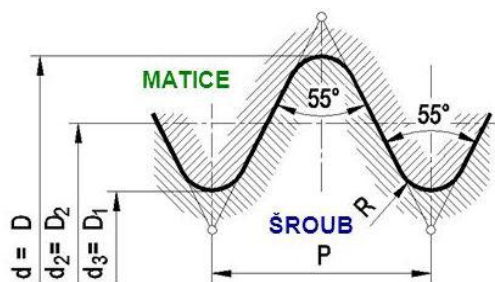
Withwortovy závity (obr. 8) se u nás běžně nepoužívají, jsou typické pro anglosaské země a jejich velikost je udávána v palcích. Označují se písmenem W a velkým průměrem závitu – např. W 1 / 2“ [6, 7, 11].



Obr. 8 Withwortův závit [10].

- *trubkový závit*

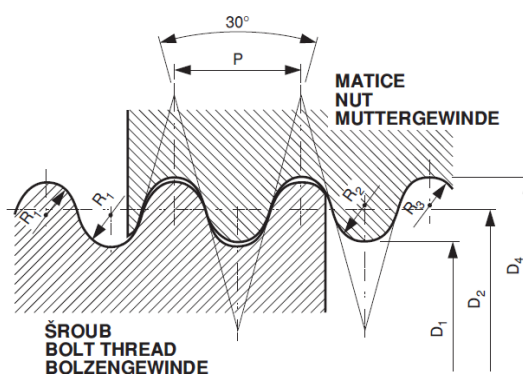
Trubkové závity (obr. 9) se používají hlavně u hydrauliky, potrubních rozvodů, vodovodů apod., ale mohou se vyskytovat jinde. Označují se písmenem G a jmenovitou světlostí (vnitřním průměrem) normalizované trubky, na kterou je vyřezán, a to v palcích – např. G 3/8“ [6, 7, 11].



Obr. 9 Trubkový závit [10].

- *Oblý závit*

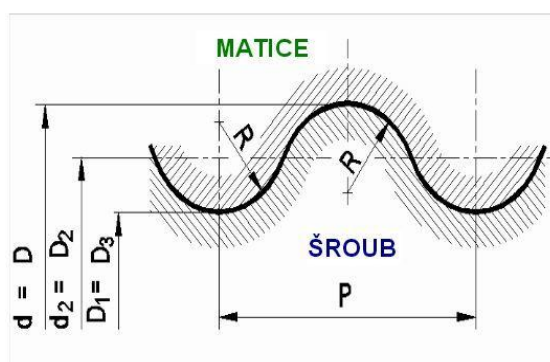
Oblé závity (obr. 10) se obvykle používají u zvláště namáhaných a často rozebíraných spojů nebo u spojů vystavených povětrnostním vlivům. Různé armatury nebo vagónové spojky mohou být příkladem. Označují se písmeny R_d a vnějším průměrem závitu – např. R_d 32. Stoupání oblého závitu se udává jako počet závitů na 1“ [6, 7, 11].



Obr. 10 Oblý závit [10].

- *Edisonův závit*

V elektrotechnice se nejčasteji používá Edisonův závit (obr. 11), což je speciální oblý závit. Typickým příkladem jeho použití je klasická žárovka. Je u něj důležitý dobrý elektrický kontakt mezi spojovanými součástmi (žárovka – objímka). Označuje se písmenem E a velkým průměrem závitu – např. E 24, stoupání Edisonova závitu se udává jako počet závitů na 1“ [6, 7, 11].

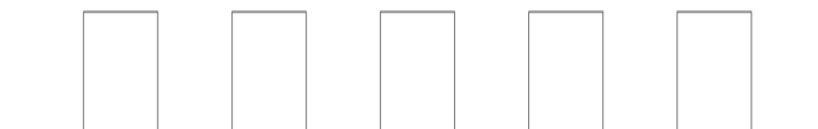


Obr. 11 Edisonův závit [10].

1.1.2 Pohybové závity:

- *čtvercový závit*

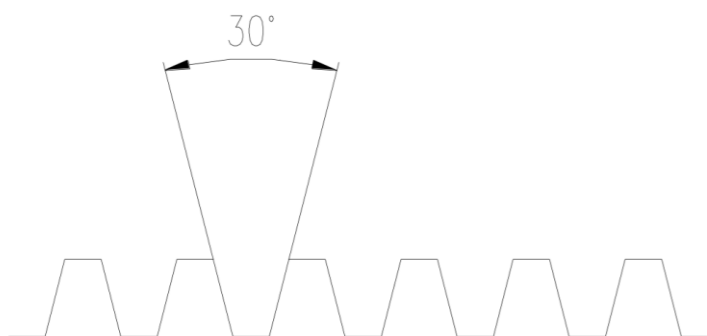
Čtvercový závit (obr. 12) má profil ve tvaru čtverce. Není normalizován, nemá žádné zavedené označení a rozměry jeho profilu musí být detailně okótovány na výkrese [6, 7, 11].



Obr. 12 Čtvercový závit [11].

- *lichoběžníkový rovnoramenný závit*

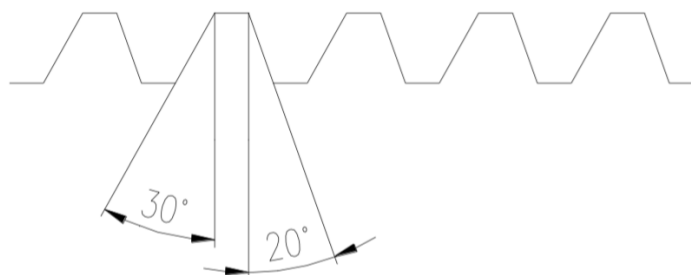
Pro lichoběžníkový rovnoramenný závit (obr. 13) se dodnes v praxi zcela běžně užívá starší název trapézový závit. Ten závit má profil ve tvaru rovnoramenného lichoběžníku a používá se pro posuvy strojních součástí, zvedáku, suportů apod. Označuje se písmeny T_r , vnějším průměrem a stoupáním – například. $T_r 48 \times 8$ [6, 7, 11].



Obr. 13 Lichoběžníkový rovnoramenný závit [11].

- *lichoběžníkový nerovnoramenný závit*

Lichoběžníkový nerovnoramenný závit (obr. 14) má stejné použití, jako závit rovnoramenný. Jeho profil však má tvar nerovnoramenného lichoběžníku. Označuje se písmenem S , vnějším průměrem a stoupáním – například. $S 48 \times 8$ [6, 7, 11].

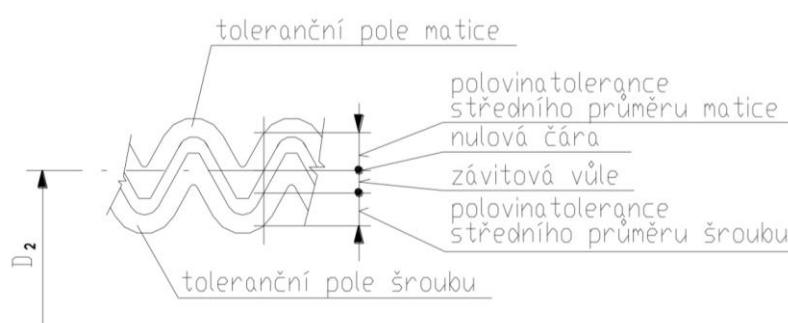


Obr. 14 Lichoběžníkový nerovnoramenný závit [11].

Závity nelze vyrobit s dokonalou přesností. Odchyłky skutečných rozměrů (obr. 15) od jmenovitých rozměrů závitů jsou normalizovány. Vychází se přitom ze soustavy jednotné matice. To znamená, že dolní mezní rozměr závitu matice se kryje se základním rozměrem závitu. Horní mezní rozměr závitu šroubu je pak vždy v mínusu, aby byla zaručena určitá závitová vůle [11].

U matic se toleruje střední a malý průměr závitu, přičemž se použijí velká písmena. Například M12 – 5H 6H. U šroubů se toleruje střední a velký průměr závitu, přičemž se použijí malá písmena. Např. M12 – 6g 7g [11].

Mají-li oba rozměry určitého závitu stejnou toleranci, uvádí se jen jeden údaj – např. M12 – 5H nebo M12 – 6g [11].



Obr. 15 Toleranční pole úchylek skutečných rozměrů závitů [11].

2 ZPŮSOBY VÝROBY ZÁVITŮ

Volba způsobu výroby závitů závisí na obráběném materiálu, čase potřebném pro zhotovení závitu, na požadovaných parametrech a přesnosti závitu.

Způsoby výroby závitů jsou v podstatě troje:

1) třískové obrábění

- řezání
- soustružení
- frézování závitů
- broušení závitů

2) tváření závitů

3) speciální metody.

Obrábění vnějších a vnitřních závitů se rozlišuje podle použité technologie, čímž se dosahuje různé přesnosti a drsnosti povrchu. To je ukázáno v následující tab. 1. [1, 2].

Tab. 1 Informativní hodnoty dosahované přesnosti a drsnosti povrchů závitů pro vybrané metody obrábění [1].

Metoda obrábění	Stupeň přesnosti	Drsnost povrchu R_a [μm]
Řezání:		
závitníky - nebroušené	6 až 8	3,2
- broušené	4 až 6	1,6 až 3,2
závitovými čelistmi	6 až 8	3,2
závitovými hlavami	7 až 8	1,6 až 3,2
Soustružení:		
závitovými noži	6 až 7	1,6 až 3,2
kotoučovými noži	6 až 7	0,8 až 3,2

Frézování:		
hřebenovou frézou	6 až 8	3,2
kotoučovou frézou	6 až 7	3,2
okružovací frézovací hlavou	6 až 7	1,6 až 3,2
Broušení	4 až 5	0,2 až 0,8

2.1 Třískové obrábění

Při výrobě závitů třískovým obráběním používáme technologie řezání pomocí závitníků, soustružení, frézování, broušení. Volba metody závisí na rozměrech vyráběných závitů, tvarech daných součástí obsahujícími vyráběný závit a také na geometrii samotných nástrojů použité technologie [2].

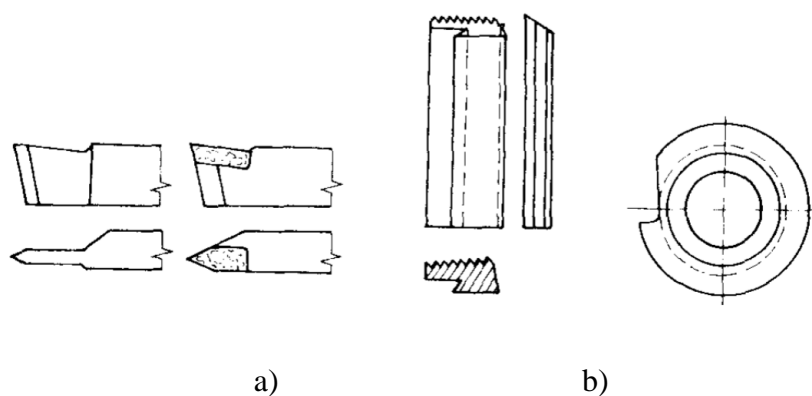
2.1.1 Řezání

Řezání patří k nejpoužívanějším způsobům výroby závitů, přičemž závitorezné nástroje umožňují výrobu jak vnitřních, tak vnějších závitů. Řezání může probíhat strojně nebo ručně. Geometrie závitorezných nástrojů závisí jednak na velikosti, druhu a požadované přesnosti závitu, ale samozřejmě také na obráběném materiálu. Pro ruční i strojní řezání vnějších závitů se používají různé druhy dělených a nedělených závitových čelistí. Závitová čelist je vlastně matice, která má v tělese vyvrtané drážky, vytvářející řezný klín a odvádějící třísky. Pomocí automatických závitových hlav se závity řezou na soustruzích vysoce produktivním způsobem. Závity se řezají do materiálů z nástrojové legované nebo rychlořezné ocele (19 802, 19 830) s tvrdostí řezné části 680 HV až 830 HV, a to s povlaky i bez nich. Při řezání se čelisti otáčejí kolem osy (hlavní pohyb) a podle stoupání řezaného závitu (vedlejší pohyb) se ve směru osy posouvají. Postupným odebráním třísky se pak vytváří povrch závitu předepsaného profilu a rozměru [1, 2].

Závitovými čelistmi je možno řezat nejen závity metrické (standardní, jemné, trapézové), unifikované hrubé i jemné, Whitworthovy (trubkové, kuželové a válcové závity, oblé závity, ale taky další typy závitů v závislosti na sortimentu výrobce čelistí. Existují čelisti, které slouží pro výrobu jak levých, tak i pravých závitů [1, 2].

2.1.2 Soustružení

Závity se soustruží na univerzálních, revolverových, poloautomatických a automatických soustruzích. Posuv nástroje na otáčku je roven stoupání soustruženého závitu. Pro soustružení vnějších i vnitřních závitů se používají speciální závitové nože (obr. 16), jejichž profil je odvozen z profilu řezaného závitu. Nože bývají celistvé, vyrobené z rychlořezné oceli nebo s připájenou destičkou, popř. s VBD mechanicky upnutou. Dovolují výrobu levých i pravých závitů [1, 2].



Obr. 16 Závitové nože [2], a) ploché, b) prizmatický, c) kotoučový.

Kinematika soustružení závitů na hrotovém univerzálním soustruhu se řídí vztahem (obr. 17):

$$n_o \cdot s_o = n_s \cdot s_s \quad (1)$$

$$i = \frac{n_s}{n_o} = \frac{s_o}{s_s} = \frac{z_s}{z_o} = i_p \cdot i_k = i_p \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_3}{z_4} \quad (2)$$

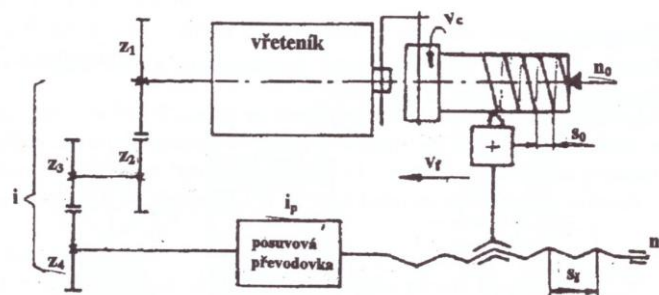
kde: n_o $[\text{min}^{-1}]$ - otáčky obrobku,

n_s $[\text{min}^{-1}]$ - otáčky vodicího šroubu,

s_o $[\text{mm}]$ - stoupání obrobku,

i_p $[-]$ - převod posuvové převodovky,

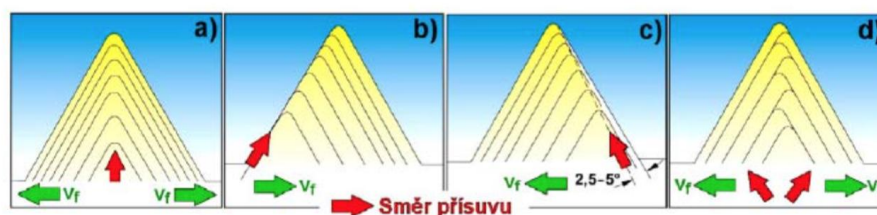
i_k $[-]$ - převod výměnnými ozubenými koly.



Obr. 17 Kinematika soustružení závitu na univerzálním hrotovém soustruhu [1].

Soustružením můžeme vyrábět závity čtyřmi způsoby:

- radiálním přísuvem (obr. 18a) je nejčastěji používaný způsob. Užívá se při pohybu kolmo na osu rotace. Dochází k rovnoměrnému úběru obráběného materiálu na obou bocích závitu a tím k rovnoměrnému opotřebení po obou stranách závitorezného nástroje. Tato metoda je vhodná pro výrobu závitů s menším stoupáním do 3 mm u obrobků z litiny a z ocelí náchylných ke zpevňování za studena, jako jsou zejména austenitické nerezavějící ocele. Obtížnost metody spočívá v náchylnosti ke kmitání u větších stoupání.
- bočním přísuvem (obr. 18b) snižujeme tepelné zatížení špičky a tím i opotřebení nástroje. Chceme dosáhnout toho, aby tříska byla dobře tvarována a odváděna z místa řezu. Tuto metodu používáme pro řezání závitů s větším stoupáním a u trapézových závitů. Nevýhodou je tření na pravém břitu nástroje, nepravidelné opotřebení a horší jakost na pravé straně závitu.
- bočním přísuvem s odklonem (obr. 18c) 3° až 5° se vyvarujeme tření na boku profilu. Upřednostňuje se při stoupáních nad 3 mm a při řezání lichoběžníkových závitů.
- střídavý přísuv (obr. 18d), použijeme pro velmi velké stoupání a materiál se špatně se utvářející třískou. Nevýhodou je náročnost na programování strojů, výhodou je rozložení úběru materiálu a opotřebení. [1, 2].



Obr. 18 Způsoby postupného soustružení závitu [2], a) radiální přísuv, b) boční přísuv, c) boční přísuv s odklonem, d) střídavý přísuv.

2.1.3 Frézování

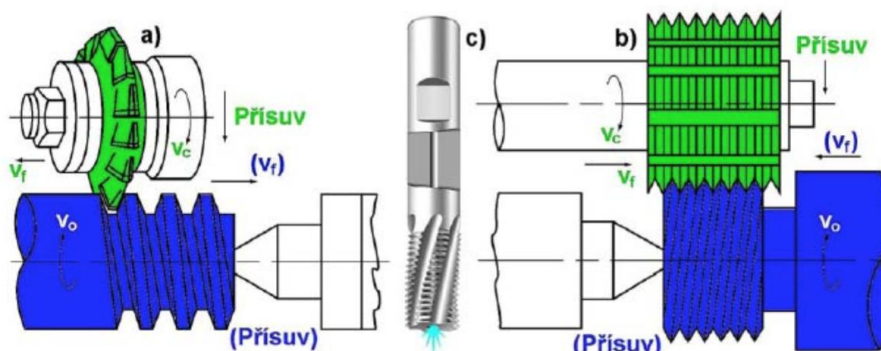
Pro frézování závitů se používají tyto druhy frézovacích nástrojů

- kotoučové závitové frézy,
- hřebenové válcové závitové frézy,
- stopkové závitové frézy.

Frézování se používá jak pro výrobu vnitřních, tak pro výrobu vnějších závitů. Můžeme frézovat pravé a levé závitky [1, 2].

Pro frézování dlouhých vnějších závitů používáme **kotoučové závitové frézy** (obr. 19a). Pro frézování je fréza vykloněna do směru tečny šroubovice středního průměru závitů. Fréza má profil závitové mezery a je vykloněna o úhel stoupání závitů. Za jednu otáčku obrobku se fréza nebo obrobek posune o stoupání závitů. Stejnou frézou můžeme frézovat závitky různých průměrů s odpovídající změnou úhlu stoupání šroubovice, je-li rozteč závitů stejná [1, 2].

Hřebenové válcové závitové (obr. 19b, obr. 19c) frézy se vyrábějí buď jako nástrčné nebo stopkové. Válcová plocha je tvořena závitovým profilem, přerušeným drážkami (přímými nebo ve šroubovici). Fréza a obrobek konají rotační pohyb kolem své osy a současně se musí posouvat relativně proti sobě [1, 2].

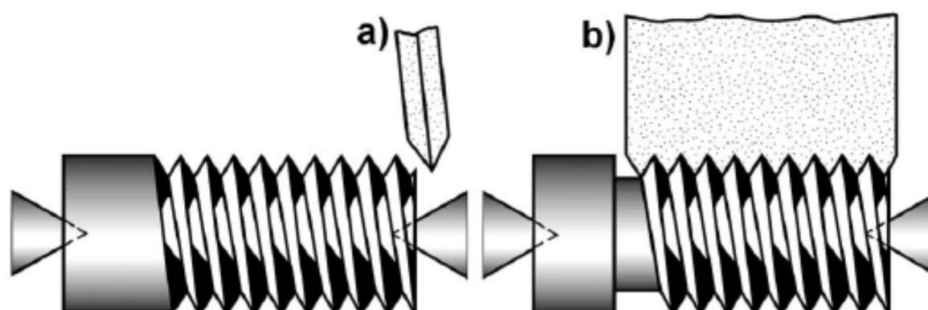


Obr. 19 Metody frézování závitů [2], a) kotoučová fréza, b) hřebenová válcová nástrčná fréza, c) hřebenová válcová stopková fréza s vnitřním přívodem řezné kapaliny

Obkružovací frézovací hlavy slouží k tomu, aby produktivně byli frézovány vnější, vnitřní, pravé i levé závit. Frézovací hlava s jedním až čtyřmi noži s profilem závitu se otáčí řeznou rychlostí 100 až 300 m.min⁻¹ a současně se relativně posouvá vzhledem k ose obrobku za jednu otáčku obrobku o jedno stoupání závitu. Jedním nástrojem lze obrábět závitů různých průměrů a délek, což je výhoda této metody. Limitujícím faktorem je pouze použitý CNC stroj [1, 2].

2.1.4 Broušení

Broušení vnějších závitů se používá pro přesné šroubů, u kterých je kladen důraz na drsnost, profil a stoupání závitů. Nejčastěji se brousí na speciálních bruskách viz obr. 3.13 jednoprofilovým (obr. 20a) nebo hřebenovým kotoučem (obr. 20b) [1, 2].



Obr. 20 Broušení vnějších závitů [2], a) jedenprofilový kotouč, b) hřebenový kotouč.

Jednoprofilový kotouč je při broušení vykloněn o úhel stoupání závitu a nastaven na jeho plnou hloubku. Obrobek se otáčí rychlostí 1 až 4 m.min⁻¹ a posouvá se v axiálním směru o délku stoupání závitu na jednu otáčku. Dosahuje se tak nejvyšší přesnosti, ale při malé produktivitě [1, 2].

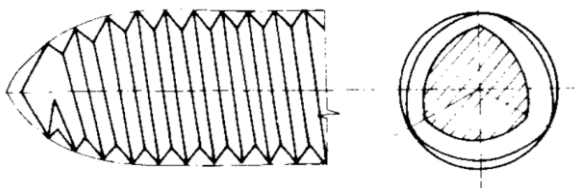
Hřebenový kotouč má na svém obvodu několik negativních profilů závitu. Je nastaven rovnoběžně s osou obrobku a postupně se axiálně posouvá k obrobku až k dosažení plné hloubky závitu. Obrobek se přitom otáčí a posouvá. Závity se stoupáním menším než 1 mm se dají brousit bez předchozího obrábění [1, 2].

Vnitřní závity se brousí obdobně jako závity vnější. Používá se malých průměrů kotoučů. V porovnání s vnějším broušením je nastavení kotouče do předřezaného závitu obtížnější. Zapichovacího způsobu broušení několikaprofilovým kotoučem se používá na jemné závity v delce do 20 mm. Podélným způsobem se brousí ostatní vnitřní závity [1, 2].

2.2 Tváření závitu

Tváření závitu je nejproduktivnější způsob výroby závitu. Nenastává úběr materiálu ve formě třísky, ale dochází k deformaci materiálu. Deformovaný materiál se zpevňuje, aniž by byla poškozena vnitřní struktura materiálu. Proto válcované závity snesou větší zatížení než obráběné [2].

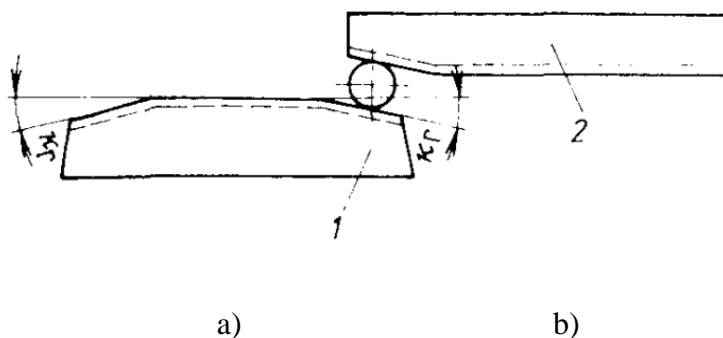
Tváření vnitřních závitu se provádí speciálními tvářecími závitníky běžně v materiálech s nižší pevností (do 500 MPa) a tažností min. 12 %, zejména v hliníkových slitinách, slitinách mědi a ocelích nižší pevnosti. Tvářecí závitník má speciální tvar tvářecí části (obr. 21). Předvrtaná díra musí být větší než střední průměr závitu. Výhodou tohoto způsobu je, že odpadá odstraňování třísek po vyříznutí závitu. Jakost a mechanické vlastnosti závitu jsou lepší než u závitu řezaného [2].



Obr. 21 Přechodová část a průřez tvářecím závitníkem [2].

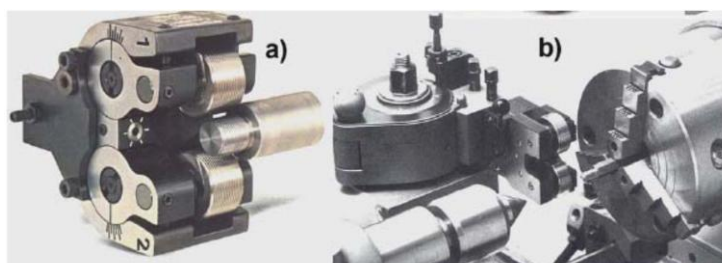
Válcování závitů je nejproduktivnější metoda výroby vnějších závitů. Její podstatou je, že se vytlačuje závit pomocí plochých nebo kotoučových čelistí, které mají tvar profilu závitů. Protože při vnikání válcovacích čelistí do materiálu se zvětšuje jeho výchozí průměr, je třeba volit výchozí průměr menší, než je požadovaný vnější průměr závitu [1, 2, 18].

Válcování závitů se provádí plochými válcovacími čelistmi (obr. 22) zejména pro výrobu šroubů. Na povrchu mají vytvořeny drážky s negativním profilem závitů (pro každou rozteč závitů je zvláštní pár čelistí) a na náběžné hraně zkosení pro usnadnění vniknutí válcovaného díku. Při každém pohybu čelisti je vyválnován závit na jednom díku, který přitom vykoná asi dvě otáčky [1, 2, 18].



Obr. 22 Ploché válcovací čelisti závitů [2], a) pevná část, b) pohyblivá část.

Závity se také válcují kotouči na válcování závitů. Závit se válcuje radiálním způsobem (obr. 23), oba kotouče jsou hnané, otáčejí se ve stejném smyslu a při válcování se přibližují. Funkční část těchto kotoučů tvoří vícechodý závit s negativním tvarem profilu válcovaného závitu [1, 2, 18].



Obr. 23 Radiální způsob válcování závitu [2], a) hlava s kotoučovými čelistmi, b) sestava stroj - nástroj - součást.

Pomocí závitových válcovacích hlav se na soustruzích válcují závitů axiálním způsobem (obr. 24). Tyto hlavy mohou být rotační nebo stojící. Ve vřetenu je upnutá rotační hlava, která se otáčí, stojící hlava je upnutá v revolverové hlavě nebo koníku a otáčí se obrobek. Pro válcování používáme sadu tří kotoučů, které jsou vůči obrobku uloženy v radiálním směru a mají osy vzhledem k ose obrobku mimoběžné [1, 2, 18].



Obr. 24 Axiální způsob válcování závitu [2], a) hlava s kotoučovými čelistmi, b) sestava stroj - nástroj - součást.

Zřejmou výhodou válcování je, že šrouby mají zmíněným zpevněním po tváření o 10 až 15 % vyšší pevnost v tahu a o 50 až 100 % vyšší mez únavy. Nevýhodou je horší tvarová přesnost a drsnost závitu. Válcování je vhodné pro materiály s pevností do 1 000 MPa (vyjimečně až do 1 200 MPa) s tažností větší než 8 %. U materiálů s pevností vyšší než asi 800 MPa se tváření závitu provádí za tepla [1, 2, 18].

3 KONTROLA ZÁVITŮ

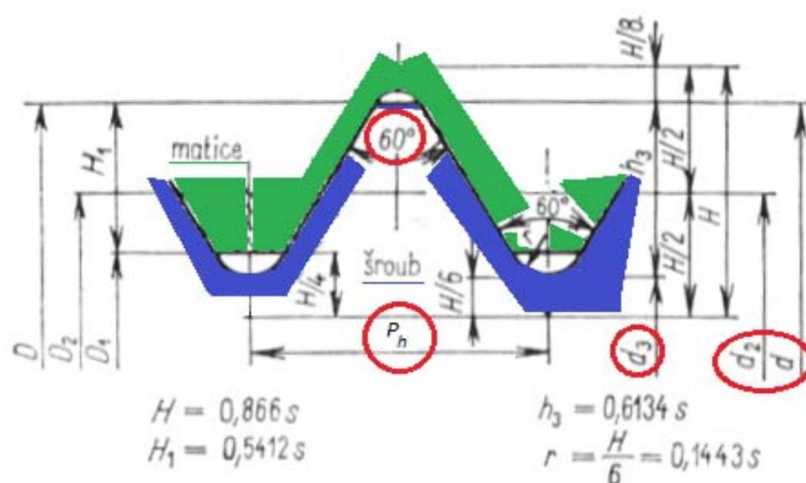
Výroba i kontrola závitových profilů musí vyhovovat požadavkům na přesnost tvaru, rozměrů, drsnost povrchu závitových boků podle funkce závitů. Nejčastěji používaný je závit metrický a jeho základní rozměry a tolerance uvádí ČSN 01 4007-78 [3, 12].

Existují tři skupiny uložení podle lícovací soustavy ISO - a to hybné, přechodné a nehybné. Tolerance jsou odvozeny podle jednotné matice. Tolerance se značí číslicemi (určují přesnost) a písmeny (určují základní úchylku). Velká písmena jsou pro matice a malá pro šrouby. Delka závitů, na kterou se vztahuje tolerance, se musí označit číslicí za toleranční značkou oddělenou pomlčkou, například M16x1,5 – 4H/5h – 30 [3, 12].

Závity šroubů a matic, na které se kladou zvláštní požadavky ohledně přesnosti rozměrů a jejichž vzájemný vztah musí být zaručen vůlí nebo přesahem závitů, se lícují. U lícovaného závitu tolerujeme tyto jmenovité rozměry profilu (obr. 25):

- střední průměr závitu matice D_2 a šroubu d_2 ,
- malý průměr závitu matice D_1 ,
- velký průměr závitu šroubu d .

Lícování závitů je stanoveno normou ČSN a přednostně se používá 6H/6g¹ [3, 12].



Obr. 25 Základní profil metrického závitu v osovém řezu [12].

Způsoby kontroly závitů

Kontrola je rozdělena na komplexní měření a měření jednotlivých úchylek, protože na výslednou přesnost závitů má vliv řada údajů (malý, velký, střední průměr závitů, úhel závitových boků, stoupání) [3, 12].

Velký a malý průměr závitu

Velký a malý průměr závitu se měří délkovými měřidly (posuvné měřidlo, mikrometr, komparátor, optimetr apod.). Malý průměr kontrolujeme pomocí nástavců připevněných na dotyky přístroje [3, 12].

Střední průměr závitu

Střední průměr závitu se měří závitovým mikrometrem s vyměnitelnými měřicími dotyky (obr. 26.), které odpovídají danému stoupání a profilu závitu. Protože jsou měřicí dotyky ve styku s velkou částí boku profilu závitu, má na přesnost měření vliv úchylka vrcholového úhlu α . Střední průměr závitu se odečítá přímo na bubínku mikrometr [3, 12].



Obr. 26 Mikrometr s vyměnitelnými dotyky pro měření vnějších závitů [12].

Střední průměr můžeme přesněji určit pomocí tzv. třídrátkové metody. Jsou to válcové měřicí tyčinky přesného průměru, z nichž jedna má samostatný štítek a dvě jsou upevněny na společném štítku. Souprava drátků se skládá ze sady 21 drátků různých průměrů a držáku se dvěma raménky. Drátky (obr. 27) se uchycují nití a závěsným štítkem na věšáček nebo jsou uloženy do držáků, které se upevňují na měřicí dotyky [3, 12].



Obr. 27 Sada měřících drátků [12].

Na základě hodnoty naměřené přes drátky mikrometrem nebo komparačním přístrojem vypočítáme střední průměr závitu nebo ho vyhledáme v tabulce. Průměr drátku se volí podle tabulek tak, aby drátky dosedly na boky ve středním průměru závitu nebo v jeho těsné blízkosti. Při měření třídrátkovou metodou nedostaneme přímo velikost středního průměru závitu, ale rozměr přes drátky podle ČSN 25 4108, kde jsou uvedené doporučené průměry drátků [3, 12].

Platí tento následující vztah pro výpočet teoretické míry přes drátky pro symetrické závity (M, W, Tr) [12]:

$$Md_2 = d_2 + d_r \left(1 + \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right) - \frac{P_h}{2} \cdot \cot g \frac{\alpha}{2} \quad (3)$$

kde: M [mm] – míra přes drátky,

d_2 [mm] – teoretický střední průměr závitu (z tabulek),

P [mm] – rozteč závitu,

P_h [mm] – stoupání závitu,

α [°] – vrcholový úhel závitového profilu,

d_r [mm] – průměr měřícího drátku.

Pro závity M, W, Tr se nejvhodnější průměr drátku pro závity M, W, Tr určuje ze vztahu:

$$M_{d2} = d_2 + d_D \left(1 + \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right) - \frac{P}{2} \times \cot g \frac{\alpha}{2} + k_1 - k_2 [\text{mm}] \quad (4)$$

kde: d_2 – střední průměr závitu,

α – úhel stoupání šroubovice,

d_D – průměr drátků,

P – stoupání,

k_1 – korekce, která zohledňuje úhel stoupání šroubovice (1-2 μm),

k_2 – korekce zohledňující měřicí tlak.

Použijeme-li takto stanovenou hodnotu průměru drátku, pak střední průměr závitu šroubu můžeme určit ze vztahu:

$$d_r = \frac{P_h}{2 \cos \frac{\alpha}{2}} \quad (5)$$

U velmi přesných výpočtů se k vypočtené hodnotě středního průměru přidávají korekce na posunutí drátku (nastavení pod úhlem stoupání šikmo k ose šroubu) a na jeho otlačení [3, 12].

Stoupání závitu

Stoupání závitů můžeme měřit několika různými způsoby podle požadované přesnosti. Pro běžné měření a kontrolu používáme jednak závitové šablony, jednak posuvná měřidla nebo rovnoběžné koncové měrky (obr. 28) [3, 12].



Obr. 28 Závitové měrky [12].

Pro přesné měření používáme mikroskop (obr. 29). Správnost profilů závitů, střední průměr závitů, stoupání závitů a úhel závitového profilu kontrolujeme mikroskopem. Při měření se uplatňuje průmětová metoda nebo metoda osového řezu [3, 12].



Obr. 29 Mikroskop pro měření závitů [12].

Průmětová metoda – profil závitu kontrolujeme revolverovým okulárem porovnáváním skutečného profilu s ideálním na skleněné destičce okuláru [3, 12].

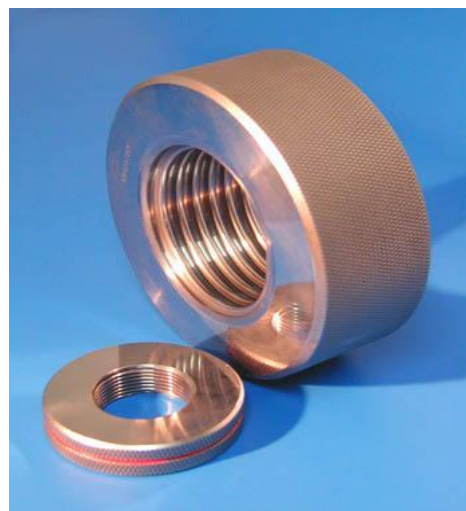
Způsoby měření a kontroly šroubu

Při hromadné a sériové výrobě se zjišťuje, zda vyrobený závit je dobrý či zmetkový. U šroubu se kontroluje:

- Velký průměr závitu posuvným měřítkem, mikrometrem nebo mezním třmenovým kalibrem.
- Závitový profil šroubu mezním závitovým třmenovým kalibrem (obr. 30) nebo mezním závitovým kroužkem (obr. 31).



Obr. 30 Třmenový závity kalibr [12].



Obr. 31 Závitové kroužky [12].

Dobrý závitový kroužek se musí lehce přeshroubovat po celé délce šroubu. Zmetkový závitový kroužek se může dát našroubovat bez násilí nejvýše na 1,5 závitu [3, 12].

Třmenové závitové kalibry mají na výstředníkových vložkách rolničky s profilem měřeného závitu odpovídající stoupání závitu, který však není zhotoven ve šroubovici. Natáčením výstředníkových vložek se třmenové mezní kalibry seřizují a to za pomoci porovnávacích kalibrů [3, 12].

Třmenové kalibry mají tyto výhody:

- jedním měřidlem lze měřit levé i pravé závity,
- součásti se dají měřit i mezi hroty (u obráběcích strojů),
- úsporu času při měření – zvláště u dlouhých závitů,
- mají dobrou i zmetkovou stranu,
- snadno se seřizují a mají i menší opotřebení,
- jsou přestavitelné podle potřebné tolerance.

Způsoby měření a kontroly matice

Měření vnitřních závitů je náročné a provádí se zřídka. Používáme dva způsoby: závitové válečkové kalibry (obr. 32) nebo porovnávací měřicí přístroje. Závitový válečkový kalibr má dobrou a zmetkovou stranu. Zmetková strana má zkrácený profil, takže měří jen malou část boku závitu. Dobrá strana se musí nechat volně zašroubovat do kontrolovaného závitu, zmetková strana se nechá zašroubovat nejvíce na 3 závity [3, 12].



Obr. 32 Závitové válečkový kalibr na vnitřní závity [12].

4 ZÁVITNÍKY

Závítníky se nejčastěji používají na výrobu vnitřního závitu. V podstatě to jsou mnohobřité tvarové nástroje se základním tvarem šroubu, v němž jsou vyfrézovány drážky pro odvod třísek. Drážky mohou být přímé, nebo ve šroubovici. Volbou sklonu a smyslu šroubové drážky se usměrňuje odvod třísek a to u pravořezných závítníků s levou šroubovicí jsou třísky odváděny z místa řezu ve směru posuvu, je-li šroubovice pravá, jsou třísky odváděny opačně, tj. ve směru ke stopce závítníku. U levořezných závítníků jsou podmínky opačné [5, 9, 21].

4.1 Rozdělení závítníků

Závítníky se dělí :

- ruční závítníky, určené pro ruční řezání závitů,
- strojní závítníky, určené pro řezání závitů jak v průchozích tak i neprůchozích otvorech,
- maticové závítníky, určené pro řezání závitů v maticích,
- kalibrovací závítníky, určené pro dokončování závitu,
- čelistníky, určené pro řezání závitů v závitových čelistech,
- speciální závítníky, (lichoběžníkové, oblé, apod.).

Závítníky jsou pravé, nebo levé a to dle směru řezného pohybu při pohledu směrem od stopky. Samostatnou skupinu tvoří závítníky kuželové, určené pro řezání závitů s kuželovou rotační plochou (jejich použití proti palcovým závitům je velmi zřídka) [5, 9, 24].

Ruční závítníky sadové

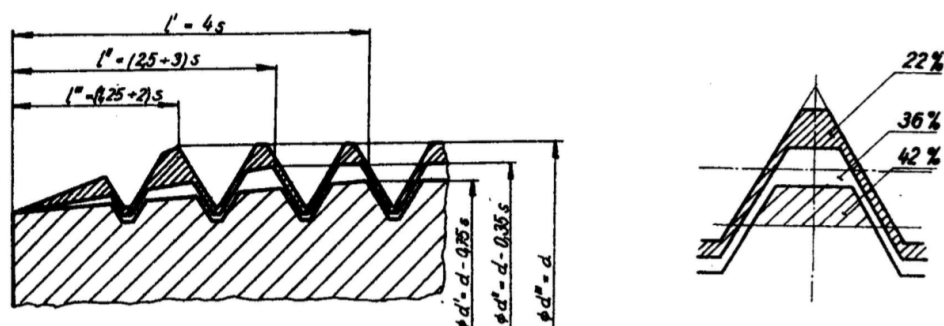
Existují 2 druhy konstrukce ručních závítníků (obr. 33): kuželové konstrukce a válcová konstrukce.



Obr. 33 Ruční závitníky sadové [5].

Kuželové konstrukce se vyznačuje tím, že sada pro tuto konstrukci je tříčlenná. Všechny členy mají plný profil a liší se pouze délkou řezného kužele (první závitník má řezný kužel nejdelší a třetí nejkratší) [5, 9].

Válcová konstrukce se vyznačuje tím, že plný profil řeže pouze závitník dořezávací. Obvykle používaná sada je tříčlenná (obr. 34), průměry jednotlivých členů jsou odstupňované. Profil jednotlivých členů je řešen tak, aby první člen odebíral 42%, druhý člen 36% a třetí člen 22% plného profilu [5, 9].

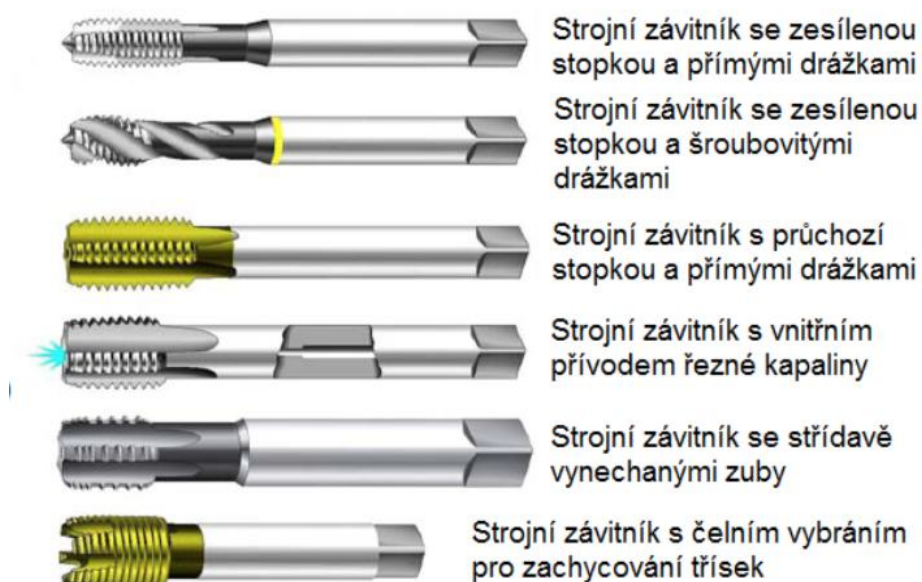


Obr. 34 Profily jednotlivých členů tříčlenných závitníků s délkou řezného kužele [5].

Strojní závitníky

Strojní závitníky (obr. 35) jsou slouží pro strojní řezání závitů. Je pro ně charakteristické to, že závit řezou většinou na jeden záběr. Závitníky v sadě jsou označovány zářezy na stopce (předřezávací závitník jeden zářez, řezací závitník dva zářezy, dořezávací závitník bez zářezu). Konstrukce strojních závitníků má krátký řezný kužel s vyfrézovanými podélnými drážkami pro odvod třísek a přívod řezné kapaliny z místa řezu. Strojní závitníky se nabízejí na trhu v následujících konstrukčních variantách: s

přímými drážkami, s přímými drážkami a lamačem třísek nebo se šroubovitými drážkami o různé velikosti úhlu šroubovice drážky. Tyto závitníky mohou být vybaveny vnitřním přívodem řezné kapaliny. K zlepšení mechanických vlastností bývají často ještě povlakovány. Podle toho, k jakému účelu je závitník určen, vybíráme ho typ [5, 9, 24].



Obr. 35 Strojní závitníky [5].

Maticové závitníky

Maticové závitníky (obr. 36) se používají pro řezání krátkých závitů, jejichž délka je menší, než průměr a mají dlouhý řezný kužel a krátkou kalibrovací část. Používají se k řezání závitů spojovacích matic, mohou být jak strojní, jak ruční [5, 9, 24].

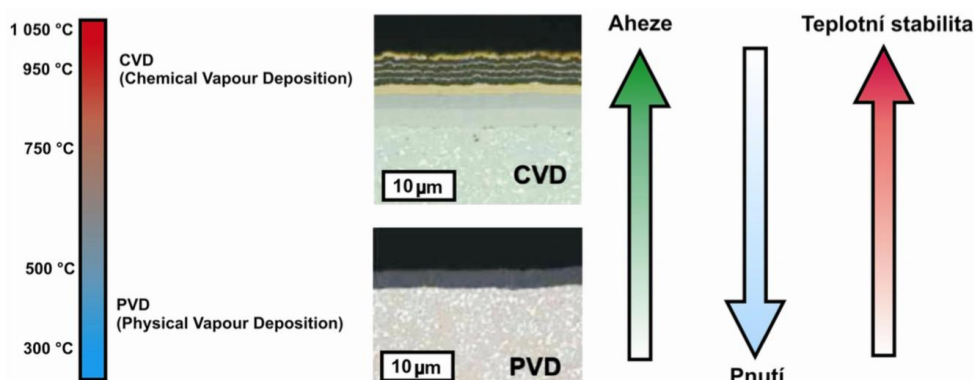


Obr. 36 Maticové závitník [5].

4.2 POVLAKOVÁNÍ

Existují 2 základní metody povlakování (obr. 37), které jsou dány různými pracovními teplotami a způsobují změnu základní vlastnosti a struktury povlaků. Jde o metodu:

- CVD (Chemical Vapour Deposition),
- PVD (Physical Vapour Deposition).



Obr. 37 Metody nanášení povlaků [13].

Metoda CVD

Pod metodou CVD se rozumí chemické napařování z plynné fáze. Tato metoda probíhá za vysokých teplot (900-1 200 °C). Byla až do začátku 90. let 20. století hlavní metodou povlakování slinutých karbidů. Výhody jsou: výborná adheze mezi podkladem a povlakem, možnost nanesení vrstev o větší tloušťce (10-13 µm), povlakování předmětů složitějších tvarů, všestranný účinek a variabilita typů povlaků. Nevýhody jsou: ovlivnění podkladového materiálu (snížení ohybové pevnosti), nemožnost napovlakovat ostré hrany a tahová zbytková napětí v povlaku [13, 25].

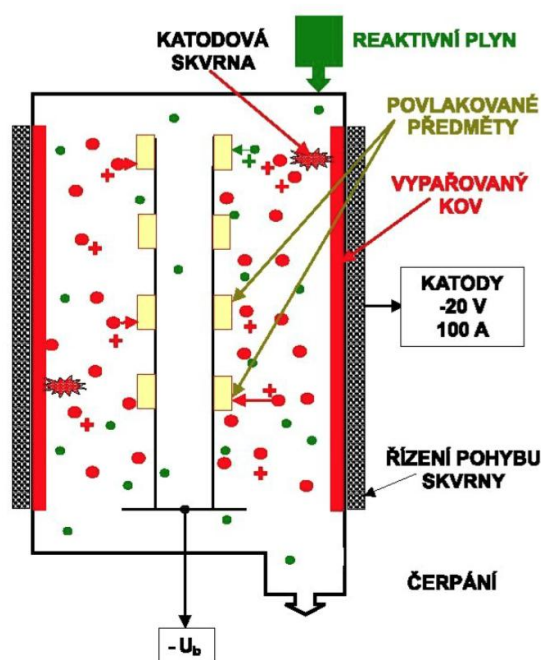
Metoda PVD

Metoda PVD (Physical Vapour Deposition = fyzikální napařování) spočívá v odpařování nebo napařování, případně kombinaci obou (iontová implantace). Zdrojový materiál v reakci s plynným prostředím se ukládá na povrch povlakovaného nástroje. Tato metoda se charakterizuje nízkými pracovními teplotami (podle některých údajů pod 600 °C, 350 °C nebo dokonce 180 °C). Byla původně vyvinuta pro povlakování nástrojů z

rychlořezných ocelí (nízká teplota zaručuje, že nedojde k tepelnému ovlivnění materiálu), v současné době je ve velkém rozsahu používána i u břitových destiček z SK, určených pro přerušovaný řez (frézování) [13, 25].

Napařování

Napařování (obr. 38) je fyzikální proces povlakování, který probíhá ve středním až vysokém vakuu, tj. při tlaku pod 1 Pa. Při napařování je čistý kov (obvykle Ti) odpařován pomocí elektrického oblouku, svazkem elektronů, nebo klasickým odporovým ohřevem. Emitované atomární částice reagují s atmosférou komory. Tuto atmosféru tvoří inertní a reaktivní plyn (např. Ar a N_2) a mají tepelnou energii 0,1-0,5 eV. Částice dopadají na povrch substrátu, kde se usazují ve formě tenké vrstvy homogenního povlaku, pevně adhezně spojeného s podkladem [13, 25].

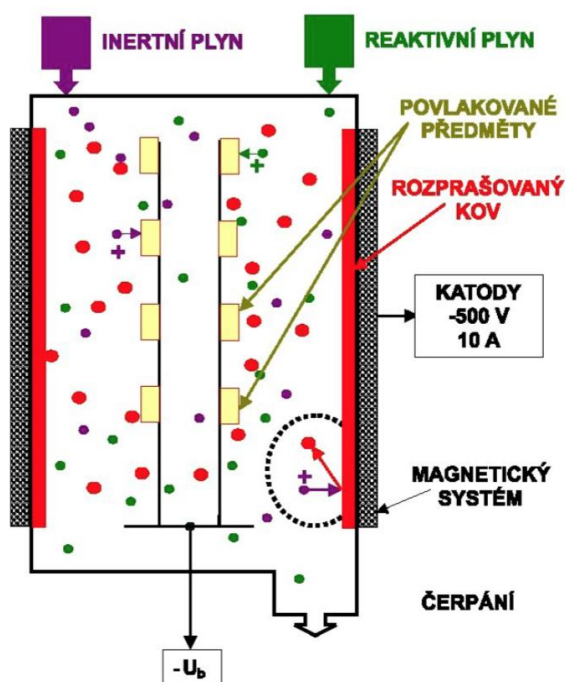


Obr. 38 Metoda napařování [13].

Naprašování

Naprašování (obr. 39) spočívá v tom, že po elektrickém výboji v plynné atmosféře komory vznikají kationy (kladné ionty), které bombardují katodu z čistého kovu, na níž je připojen záporný pól elektrického napětí 0,5-5,0 kV. Vysoká kinetická energie iontů uvolní

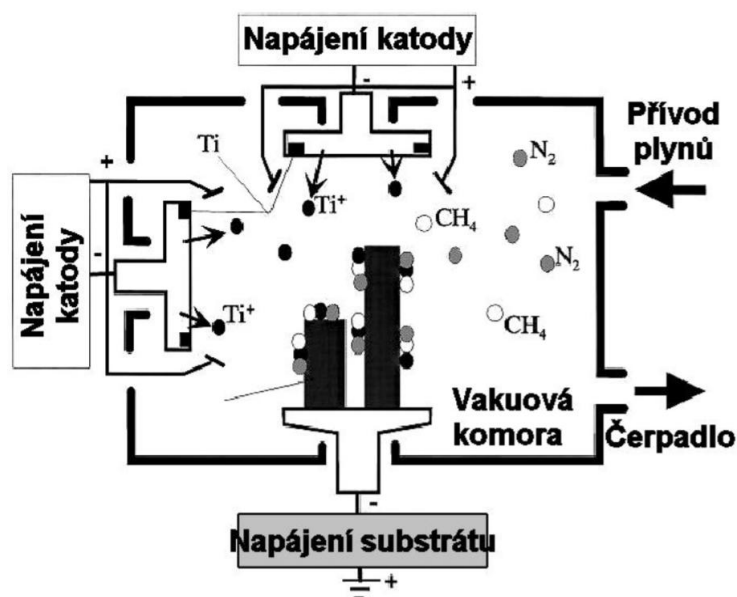
z terče čistého kovu částice potřebného chemického složení (závisí na použitém kovu a složení plyné atmosféry), které se následně usazují na povrchu substrátu a vytvářejí tak požadovaný povlak. Oproti odpařování má naprašování tu přednost, že vznikají tenké vrstvy neobsahující mikročástice. K výhodám patří nízké tepelné zatížení a možnost naprašování a ukládání prvků, chemických slitin a sloučenin. Naproti tomu nevýhodou je, že tato metoda vyžaduje velké náklady a složité nanášecí zařízení a rovněž se vyznačuje nízkou intenzitou [13, 25].



Obr. 39 Metoda naprašování [13].

Iontová implantace

Iontová implantace (obr. 40) je kombinací napařování a naprašování. Mezi substrátem (katoda, záporný potenciál 50 až 1000 V) a odpařovačem je totiž vytvořeno silné elektrické pole (rozdíl potenciálů 104 V a více) a tím dochází k elektrickému výboji v plyné atmosféře. Tím jsou ionizovány částice plynu i odpařené částice čistého kovu. Reakcí iontů vzniká povlak, který se vytváří na povrchu předmětů vsázky. Daná metoda (v menší míře i naprašování) je v důsledku plazmaticky aktivovaného procesu charakterická zvýšeným podílem iontů v toku materiálu. Tento způsob dává možnost kontrolovat a měnit vlastnosti výsledného povlaku [13, 25].



Obr. 40 Metoda iontové implantace [13].

4.3 ŘEZNÉ KAPALINY

Zakladní funkce řezných kapalin jsou mazání, chlazení a odvod třísek z místa řezu, tím je umožněno prodloužení životnosti závitníku a zvýšení kvality vyrobeného závitu. Řezné kapaliny můžeme dělit na ty, u nichž převažuje chladicí účinek a ty, u nichž převažuje účinek mazací. Stále více se totiž projevuje snaha spojit oba účinky dohromady. Všechny moderní druhy řezných kapalin splňují tento požadavek. Řezné kapaliny se rozdělují na vodní roztoky, emulzní kapaliny, mastné oleje, zušlechtěné řezné oleje, rostlinné oleje (ekologicky nezávadné) a syntetické kapaliny [1, 13].

Vodní roztoky

Vodní roztoky jsou nejjednodušší a tím i nejlevnější řezné kapaliny, které však neposkytují žádné další výhody. Voda, která je jejich základem, vyžaduje řadu úprav - změkčování a přidávání přísad proti korozi, pro zlepšení smáčivosti a proti pěnivosti. Vodní roztok musí být vždy alkalický. U těchto kapalin vzniká nebezpečí rozmnožování anaerobních bakterií, které způsobují tvorbu kalů a nepříjemný zápach. Vodní roztoky mají velice dobrý chladicí a čistící účinek, ale téměř žádný mazací účinek [1, 13].

Emulzní kapaliny

Emulzní kapaliny obsahují směs dvou vzájemně nerozpustných kapalin. Jedna z nich tvoří mikroskopické kapky, rozptýlené v kapalině druhé (olej ve vodě). Aby to bylo umožněno, do této soustavy se přidává ještě emulgátor, který zmenšuje mezipovrchové napětí emulgovaných kapalin, stabilizuje emulzi a zabraňuje koagulaci jemně rozptýlených částic oleje ve vodě. Emulzní kapaliny spojují přednosti vody a mazacích olejů. Chladicí účinek emulzní kapaliny závisí na koncentraci emulze, s jejím nárůstem klesá. Je důležité sledovat schopnost ochrany proti korozi. Nejčastěji používáme uvedené řezné kapaliny, které tvoří asi 80 % jejich celkového objemu [1, 13].

Zušlechtěné řezné oleje

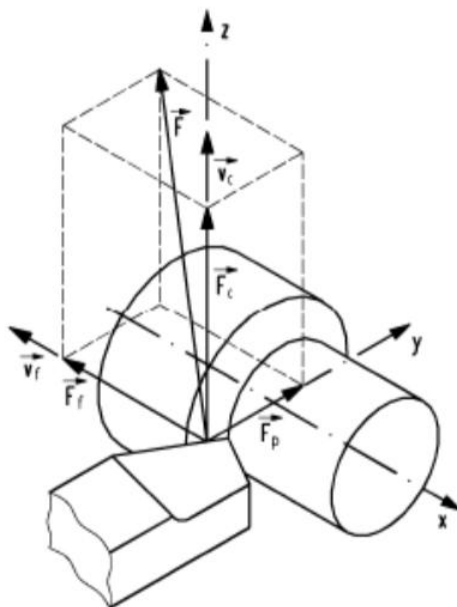
Zušlechtěné řezné oleje jsou kapaliny na bázi minerálních olejů. Přísady, které se používají (mastné látky, organické sloučeniny a pevná maziva) zvyšují jejich tlakovou únosnost a mazací vlastnosti. Mastné látky jsou zmýdelnitelné mastné oleje, mastné kapaliny nebo syntetické estery. Tyto přísady zvětšují přílnavost oleje ke kovu a zlepšují jeho mazací schopnosti. Organické sloučeniny jsou vytvořeny na bázi síry, chloru, nebo fosforu. Všechny tyto látky se osvědčily jako vysokotlaké přísady [1, 13].

Syntetické a polosyntetické kapaliny

Syntetické a polosyntetické kapaliny se vyznačuje velkou provozní stálostí. Bývají rozpustné ve vodě a mají dobré mazací, chladicí a ochranné účinky. Syntetické řezné kapaliny neobsahují minerální oleje, ale jsou složeny z rozpouštědel - glykolů, které ve vodě emulgují, nebo se rozpustí. Glykoly jsou průsvitné, takže umožňují sledovat průběh obráběcího procesu [1, 13].

5 MĚRNÉ ŘEZNÉ SÍLY PŘI ŘEZÁNÍ ZÁVITŮ

Silové zatížení nastává při vzájemné interakci nástroje a obrobku. Celková řezná síla je vyvolána působením řezné části na obrobek. Tato řezná síla směřuje do tří stran (obr. 41). Jestliže používáme jeden břit, celkovou řeznou sílu rozkládáme na sílu posuvnou F_f , pasivní F_p , řeznou F_c [14, 26].



Obr. 41 Jednotlivé složky výsledné řezné síly [14].

Podle empirických vztahů se počítají jednotlivé síly. Obráběný materiál určuje velikost jednotlivých složek sil (vyjádřeno pomocí konstanty C_F) a šířku záběru a_p . Nejméně je materiálem ovlivněná řezná rychlost v_c . Konstanty C_{Fc} , C_{Ff} , C_{Fp} a exponenty x_{Fc} , x_{Ff} , x_{Fp} jsou pro dané podmínky řezání stanoveny empiricky [14, 26].

Řezná síla se počítá ze vzorce:

$$F_c = C_{Fc} \cdot a_p^{x_{Fc}} \cdot f^{y_{Fc}} \quad [\text{N}] \quad (6)$$

kde: C_{Fc} [-] - konstanta,

a_p [mm] - šířka záběru ostří,

f [mm] - posuv na otáčku,

x_{F_c} [-] - vyjadřující vliv obráběného materiálu

y_{F_c} [-] - exponent, vyjadřující vliv posuvu na otáčku.

Řeznou sílu se také může definovat podle měrné řezné síly k_c . Hodnota měrné řezné síly se výrazně liší v závislosti na obráběném materiálu a podle typu řezného procesu [14, 26].

Řezné síly na základě známé měrné řezné síly se počítá ze vzorce:

$$F_c = k_c \cdot A_D \quad [\text{N}] \quad (7)$$

kde: k_c [MPa] - měrná řezná síla,

A_D [mm]² - jmenovitá plocha řezu.

Pasivní síla se počítá ze vzorce:

$$F_p = C_{Fp} \cdot a_p^{x_{Fp}} \cdot f^{y_{Fp}} \quad [\text{N}] \quad (8)$$

kde: C_{Fp} [-] - konstanta, vyjadřující vliv obráběného materiálu,

a_p [mm] - šířka záběru ostří,

f [mm] - posuv na otáčku,

y_{Fp} [-] - exponent, vyjadřující vliv posuvu na otáčku,

x_{Fp} [-] - exponent, vyjadřující vliv šířky záběru ostří.

Posuvová síla se počítá ze vzorce:

$$F_f = C_{Ff} \cdot a_p^{x_{Ff}} \cdot f^{y_{Ff}} \quad [\text{N}] \quad (9)$$

- kde: C_{F_f} [-] - konstanta, vyjadřující vliv obráběného materiálu,
- a_p [mm] - šířka záběru ostří,
- f [min^{-1}] - posuv na otáčku,
- y_{F_f} [-] - exponent, vyjadřující vliv posuvu na otáčku,
- x_{F_f} [-] - exponent, vyjadřující vliv šířky záběru ostří.

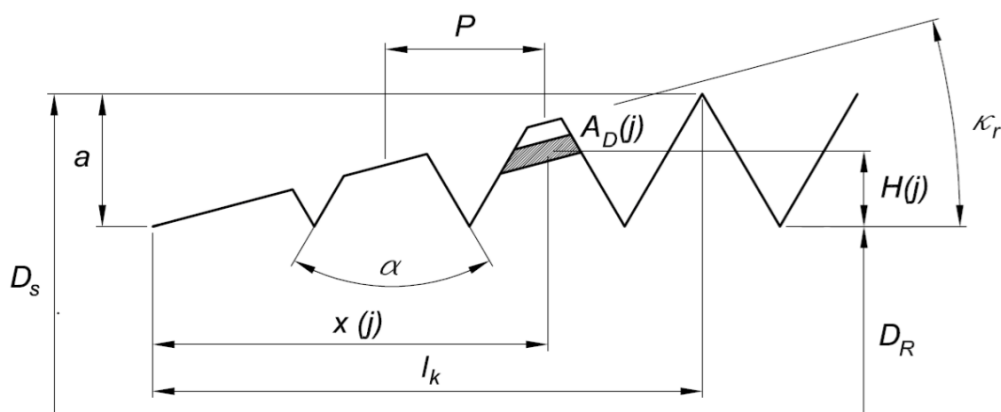
Celková řezná síla platí se počítá ze vzorce:

$$F_e = \sqrt{F_c^2 + F_p^2 + F_f^2} \quad [\text{N}] \quad (10)$$

- kde: F_c [N] - řezná síla,
- F_p [N] - pasivní síla,
- F_f [N] - posuvová síla.

6 ROZLOŽENÍ PRŮREZU TŘISKY PŘI APLIKACI ZÁVITNÍKŮ

Teoretický průběh sil při řezání závitu závitníkem můžeme určit na základě geometrického rozboru příčného řezu nedeformované třísky (obr. 42).



Obr. 42 Schéma průřezu třísky při řezání závitu [15].

Nedeformovaný průřez třísky $A_D(j)$ j -tého zubu závitníku je možno si představit ve tvaru lichoběžníku definovaný podle vztahu [15]:

$$A_D(j) = b \cdot \left(1 - \frac{H(j)}{2a}\right) \cdot [H(j) - H(j-1)] \quad (11)$$

$$H(j) = x(j) \cdot \operatorname{tg}(\kappa_r) \quad (12)$$

$$x(j) = a \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) + \frac{(j-1) \cdot P}{z} \quad (13)$$

$$b = 2 \cdot a \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad (14)$$

$$H(j) = \left[a \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) + \frac{(j-1) \cdot P}{z} \right] \cdot \operatorname{tg}\kappa_r \quad (15)$$

$$j = 1, 2, \dots, N_R \quad (16)$$

$$a = \frac{(D_s - D_R)}{2} \quad (17)$$

kde:

- α - úhel profilu závitu,
- κ_r - sklon řezné části závitníku,
- z - počet drážek,
- D_R - průměr předvrtané díry,
- b - max. šířka třísky,
- a - řezná hloubka,
- x - osová vzdálenost j -tého zubu,
- P - rozteč závitu,
- N_R - počet zubů v záběru,
- D_S - střední průměr závitu.

Vztahy pro výpočet složek sil působících na j -tý zub v případě obecného řezání [15]:

$$F_1 = K_{tC} \cdot A_D(j) + K_{tE} \cdot L(j) \quad (18)$$

$$F_2 = K_{rC} \cdot A_D(j) + K_{rE} \cdot L(j) \quad (19)$$

$$F_3 = K_{fC} \cdot A_D(j) + K_{fE} \cdot L(j) \quad (20)$$

za podmínky:

- ortogonální úhel roviny stříhu (φ_C) v obecném řezání je roven normálovému úhlu roviny stříhu v obecném řezání (φ_N),
- normálový úhel čela α_n je roven ortogonálnímu úhlu čela α_r ,
- úhel sklonu ostří i je roven úhlu odvodu třísky η ,

- smykové napětí ve střížné rovině τ_S a třecí úhel ρ jsou stejné v obecném a ortogonálním řezání.

Pro řezné koeficienty K_{iC} ($i = t, f, r$) v případě obecného řezání platí vztah [15]:

$$K_{tC} = B \cdot [\cos(\rho - \alpha_n) + \operatorname{tg}^2 \eta \cdot \sin \varrho] \quad (21)$$

$$K_{fC} = B \cdot \frac{\sin(\rho - \alpha_n)}{\cos \eta} \quad (22)$$

$$K_{rC} = B \cdot \operatorname{tg} \eta \cdot [\cos(\rho - \alpha_n) - \sin \rho] \quad (23)$$

$$B = \frac{\tau_S}{\sin \phi \cdot \sqrt{\cos^2(\phi_n + \rho - \alpha_n) + \operatorname{tg}^2 \eta \cdot \sin^2 \varrho}} \quad (24)$$

kde: ϕ_n - normálový úhel roviny stříhu,

τ_S - smykové napětí ve střížné rovině,

α_n - normálový úhel čela,

ρ - třecí úhel,

η - úhel odvodu třísky (úhel stoupání šroubovice závitu).

Koeficienty břitů K_{iE} ($i = t, r, f$) jsou konstanty získány experimentálně s využitím lineární regrese pro případ ortogonálního řezání ($K_{rE} = 0$) [17].

Délku řezného ostří $L(j)$ j – tého zubu, v případě řezného kužele závitníku, definujeme ze vztahu [15]:

$$L(j) \approx \left(\frac{1}{a}\right) (a - H(j)) \left(b + \frac{2 \cdot a}{\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}\right) \quad (25)$$

a pro kalibrovací část závitníku [15]:

$$L(j) \approx \frac{2 \cdot a}{\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \quad (26)$$

Řezný pohyb nastává ve směru tečny ke šroubovici závitu. Má-li závitník rovné drážky, můžeme posuvovou a řeznou složku celkové řezné síly působící na břit jednotlivého zubu napsat ve tvaru [15]:

$$F_c(j) = [K_{tC}A_D(j) + K_{tE}L(j)] \cos \eta + [K_{rC}A_D(j) + K_{rE}L(j)] \sin \eta \quad (27)$$

$$F_p(j) = [K_{tC}A_D(j) + K_{tE}L(j)] \sin \eta - [K_{rC}A_D(j) + K_{rE}L(j)] \cos \eta \quad (28)$$

$$\operatorname{tg} \eta = \frac{P}{D_s \cdot \pi} \quad (29)$$

kde: η - úhel stoupání šroubovice závitu,

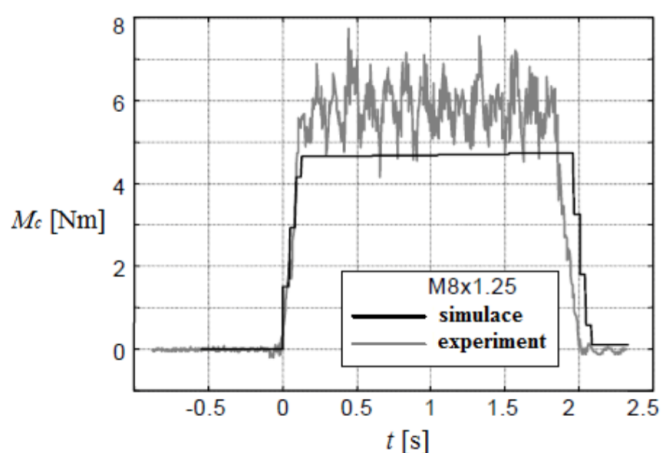
D_s [mm] - je střední průměr závitu,

P - stoupání závitu.

Výsledný řezný moment (obr. 43) a posuvovou sílu definujeme jako součet momentů od všech zubů v záběru podle vztahu [15]:

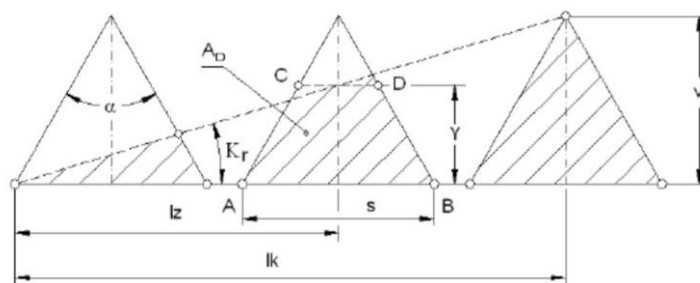
$$M_c = \frac{D_s}{2} \sum_{j=1}^{N_R} F_c(j) \quad (30)$$

$$F_p = \sum_{j=1}^{N_R} F_p(j) \quad (31)$$

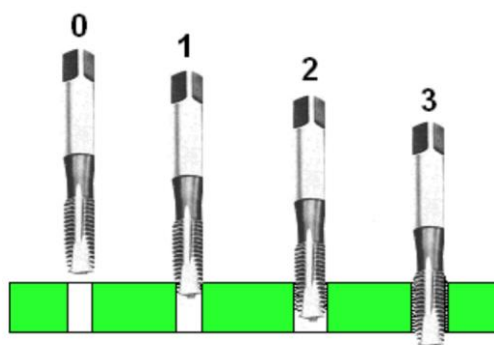


Obr. 43 Srovnání řezného momentu u simulace a experimentu [15].

Model popisující řezání závitu je možno zjednodušit rozdělením na jednotlivé fáze řezání závitu podle polohy nástroje (obr. 45). Z geometrického rozboru (obr. 44, obr. 45) vyplývá, že teoretický průběh řezného momentu je závislý na velikosti plochy třísky A_D ve tvaru lichoběžníku a velikosti měrné řezné síly k_c - podle poloh závitníku 0 až 3.



Obr. 44 Schéma průběhu průřezu třísky při řezání maticovým závitníkem [16].



Obr. 45 Časový průběh řezání závitu závitníkem [16].

Obsah plochy třísky A_D ve tvaru lichoběžníku se stanoví (obr. 44) [16]:

$$A_D = \frac{y(AB + CD)}{2} \quad (32)$$

přitom:

$$y = lz \cdot \operatorname{tg} \kappa_r \quad AB = s$$

podobnost trojúhelníků určuje

$$CD = \frac{AB \cdot (v - y)}{v} = \frac{s \cdot v - s \cdot y}{v}$$

přitom:

$$v = \frac{s}{2 \cdot \operatorname{tg} 30^\circ} \quad \operatorname{tg} \kappa_r = \frac{v}{lk}$$

dosazením a úpravou je pak teoretický průběh plochy třísky určen vztahem

$$A_D = lz \cdot \operatorname{tg} \kappa_r \cdot \frac{\left(s + \frac{s \cdot v - s \cdot y}{v}\right)}{2} = lz \cdot \operatorname{tg} \kappa_r \cdot \frac{2 \cdot s \cdot v - s \cdot lz \cdot \operatorname{tg} \kappa_r}{2 \cdot v} =$$

$$= \frac{2 \cdot s \cdot v \cdot lz \cdot \operatorname{tg} \kappa_r - s \cdot lz^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \kappa_r}{2 \cdot v} = \frac{s \cdot v}{2} \cdot \left(\frac{2 \cdot lz \cdot \operatorname{tg} \kappa_r}{v} - \frac{lz^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \kappa_r}{v^2} \right)$$

$$A_D = A_{Dmax} \cdot \left(\frac{2 \cdot lz \cdot \operatorname{tg} \kappa_r}{v} - \frac{lz^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \kappa_r}{v^2} \right) \quad (33)$$

kde:

$$A_{Dmax} = \frac{s \cdot v}{2}$$

Při konstantní hodnotě měrné řezné síly k_c závisí časový průběh řezného momentu jen na průřezu třísky, který můžeme rozdělit do třech intervalů podle hloubky zařezání řezného kužele závitníku [15, 16]:

1. $l \in \langle 0; lk \rangle$

$$A_{D1} = A_{Dmax} \cdot \left(\frac{2 \cdot lz \cdot \operatorname{tg} \kappa_r}{v} - \frac{lz^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \kappa_r}{v^2} \right) \quad (34)$$

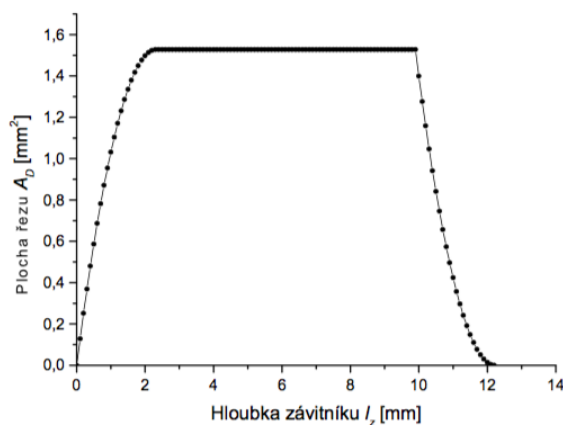
2. $l \in \langle lk; L \rangle$

kde L je hloubka závitníku, od které dojde k vyjždění závitníku z řezu (obr. 46).

$$A_{D2} = A_{Dmax} = \frac{s \cdot v}{2} \quad (35)$$

3. $l \in (L; L + lk)$

$$A_{D3} = A_{Dmax} \cdot \left[1 - \left(\frac{2 \cdot lz \cdot \operatorname{tg} \kappa_r}{v} - \frac{lz^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \kappa_r}{v^2} \right) \right] \quad (36)$$



Obr. 46 Teoretický průběh plochy řezu v závislosti na daném závitě M8 ISO 2/6H [16].

Z hlediska výroby závitů je důležitý časový interval 2, v němž řezný kužel maticového závitníku je plně zařezán do materiálu a nástroj je zatížen v podstatě plným výkonem [15, 16].

Řezná síla F_c [N], řezný moment M_c [Nm], a řezný výkon P_c [W] jsou určeny vztahem [26]:

$$F_c = k_c \cdot A_D \quad (37)$$

$$M_c = \frac{F_c \cdot D_s}{2000} \quad (38)$$

$$P_c = \frac{M_c \cdot n}{9,55} \quad (39)$$

kde D_s [mm] - střední průměr závitu,

k_c [MPa] - měrná řezná síla

n [min⁻¹] - otáčky nástroje.

7 EXPERIMENTÁLNÍ ZKOUŠKY

Experimentální zkoušky měly za cíl vyzkoušet nařezání 3 vnitřních závitů řezacím závitníkem, získat data z experimentu, zkontrolovat závity kalibrem a provést analýzu získaných dat.

7.1 Metodika experimentu

Zkušební materiál

Pro všechny závitníky, zkoušené v rámci experimentu byla zkušebním materiálem normalizačně žíhaná konstrukční ocel ČSN 12 050.1 (C45 podle ISO). V tab. 2 je uvedeno její chemické složení dle ČSN, mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tab. 3. Tato ocel je vhodná na hřídele těžních strojů, turbokompresorů, karuselů apod. Také se používá na větší ozubená kola, šneky, ozubené věnce, rotory šroubových kompresorů, ojnice, pístnice, vřetena atd.

Tab. 2 Chemické složení oceli 12 050.1 dle ČSN (hm.%) [18].

	C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	P	S
dle ČSN	0,42 0,50	0,50 0,80	0,17 0,37	max 0,25	max. 0,30	max 0,30	max 0,040	max. 0,040

Tab. 3 Mechanické vlastnosti oceli 12 050.1 [18].

Parametry		Hodnoty
Mez kluzu $R_{p0,2}$	MPa	min. 325
Mez pevnosti R_m	MPa	min. 540
Tažnost A_5	%	min 17
Tvrdost	HB	max 225
Modul pružnosti v tahu E	GPa	211
Modul pružnosti ve smyku G	GPa	79

Zkušební polotovár měl rozměry 120x100x26 mm, průměr díry byl 8,52 mm. Díry byli předvrtány skrz celou tloušťku materiálu. Pro chlazení byl použit mísitelný koncentrát řezné kapaliny pro obrábění CIMSTAR 597 s koncentrací 9%.

Zkušební stroj

Pro provedení experimentálních zkoušek bylo použito portálové obráběcí centrum ZPS MCV 1210 (obr. 47) vybavené řídicím systémem SINUMERIK 840. Portálové obráběcí centrum MCV 1210 je vysoce produktivní stroj se širokým uplatněním při obrábění složitých prostorových tvarů ve třech nebo v pěti osách. Vzhledem k vysoké dynamice, velmi vysoké tuhosti a tlumícím vlastnostem konstrukce stroj umožňuje využití výhod HSC technologie. Veškeré pohyby stroje jsou realizovány prostřednictvím lineárního vedení s valivými elementy. Odměřování polohy v osách X, Y, Z je prováděno přímo absolutními odměřovacími jednotkami. Na Mezinárodním strojírenském veletrhu v roce 2005 v Brně získalo toto vertikální obráběcí centrum ocenění Zlatá medaile v kategorii obrábění, tváření a povrchové úpravy. Všechny hlavní parametry zkušebního stroje jsou uvedeny v tab. 4[19].



Obr. 47 Portálové obráběcí centrum TNC TAJMAC-ZPS MCV 1210 [19].

Tab. 4 Parametry portálového obráběcího centra ZPS MCV 1210 [19].

Pojezdy	
osa X (křížový suport)	1 000 mm
osa Y (příčnick)	800 mm
osa Z (smykadlo)	600 mm
rozměr pracovního stolu	1 200 x 1 000 mm
maximální zatížení	3 000 kg
vřeteno	
typ	elektrovřeteno
maximální otáčky	18 000 min ⁻¹
maximální výkon	32 kw
maximální krotoucí moment	90 Nm

Strojní svěrák, uchycený přírubou, šrouby a upínkami na čelní ploše snímače piezoelektrického křemíkového dynamometru KISLER 9272, byl použit k upnutí obrobku.

Zkoušený závitník

Pro experiment byl vybrán strojní řezací závitník EMUGE M10-Iso2/6H Enorm 1-Z (obr. 48), určený pro výrobu vnitřních závitů M10. Délka tohoto závitníku je 100 mm. Ten závitník byl vyroben z HSSE a opatřen povlakem TiN, který byl nanášen metodou PVD. Je důležité, že ten testovací závitník byl už používaný, což mělo vliv na výsledky z experimentu.



Obr. 48 Zkoušený závitník.

Řezné podmínky

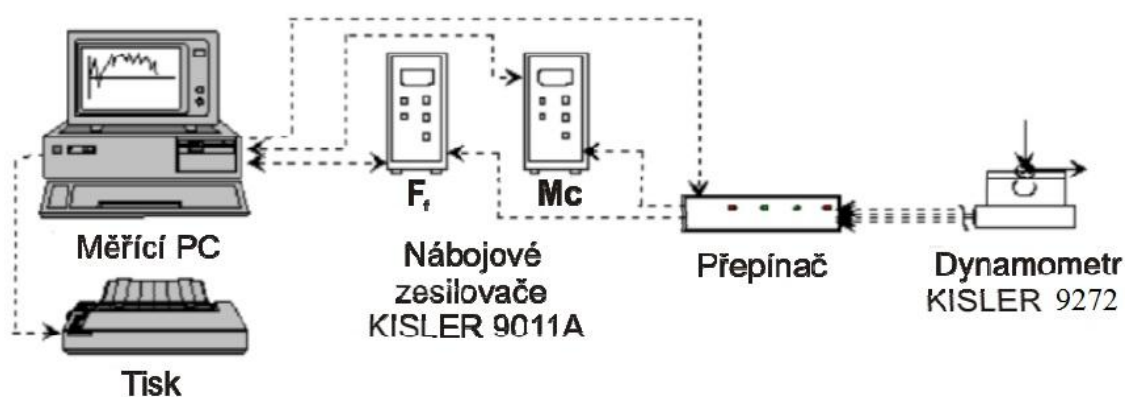
Pro tento experiment byly použity doporučené řezné podmínky, které jsou uvedeny v následující tab. 5.

Tab 5 Použité řezné podmínky.

Řezné podmínky	Hodnoty
Hloubka materialu	26 mm
Hloubka závitu	26 mm
Řezná rychlost	$20 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
Otáčky	640 min^{-1}
Posuv na otáčku	1,5 mm

Princip měření

Kvůli získání přesných hodnot řezného momentu a posuvové síly u experimentu byl použit piezoelektrický křemíkový dynamometr KISLER 9257B (obr. 50) s nábojovými zesilovači KISLER 9011A, které jsou zcela řízené počítačem (obr. 49). Měřicí systém podle tohoto schématu je zobrazen na obrázku 51.



Obr. 49 Schéma měření s piezoelektrickou soustavou KISLER [20].



Obr. 50 Dynamometr KISLER 9257B z experiment.



Obr. 51 Měřicí systém v dílně.

7.2 Provedení zkoušky, dosažené výsledky a diskuze experimentu

Při provedení praktických zkoušek byla provedena výroba vnitřních závitů řezacím závitníkem při konstantních řezných podmínkách. Pro uskutečnění zkoušky bylo důležité vybrat vhodný zkušební materiál, obráběcí stroj a zvolit vhodné řezné podmínky. Všechny tyto okolnosti jsou uvedeny v předešlé kapitole 7.1 Metodika experimentu. Kvůli výrobě vnitřních závitů do zvolené ocele 12 050.1 byl vybrán závitník EMUGE M10-Iso2/6H Enorm 1-Z. Tento zkušební závitník byl vyroben z HSSE a opatřen povlakem TiN, naneseným metodou PVD.

Pro výrobu závitů byl sestaven a použit následující program:

N5 G54

N10 X0 Y0

N15 T1 Z1=-31

N20 Z0=0 X0=0 Y0=0

N25 Z50

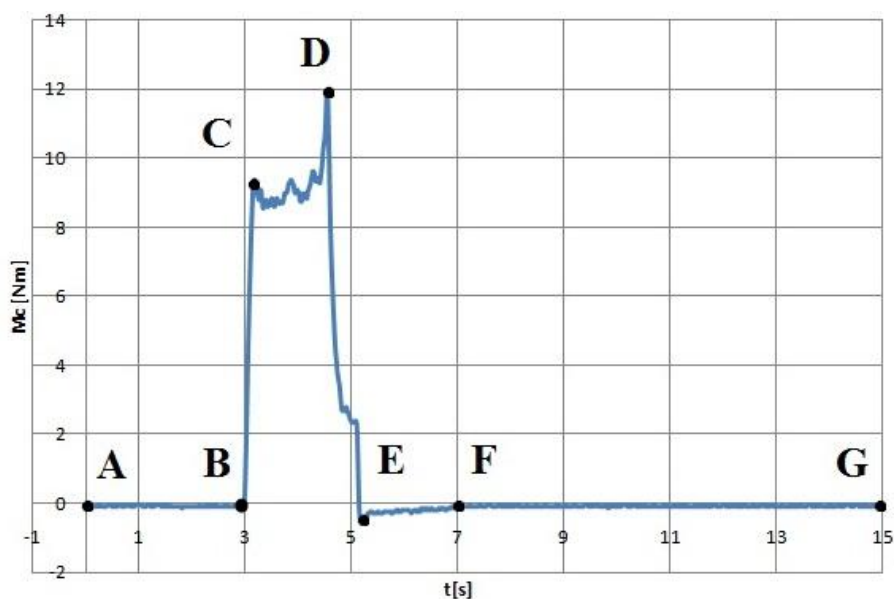
N30 Y150

N35 M30

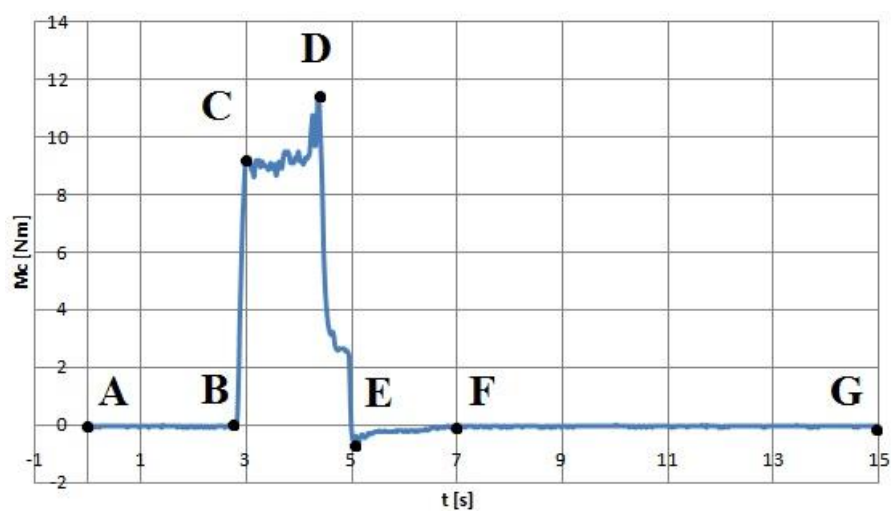
N40 END

Řezný moment závitníků

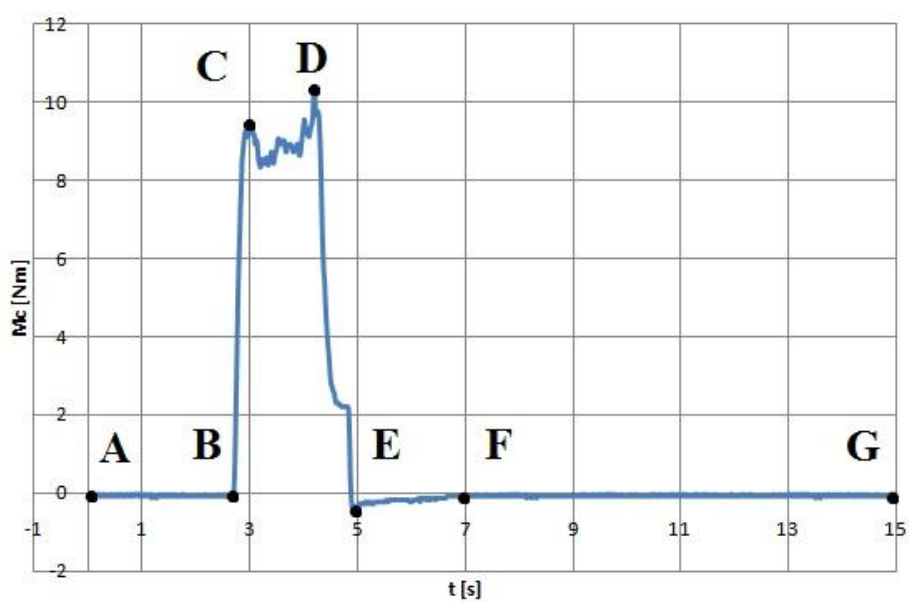
Při provedení experimentu byla získána data, z nichž za pomoci programu Microsoft Office Excel 2014 byly sestaveny 3 grafy závislosti řezného momentu M_C na čase t (obr. 52, obr. 53, obr. 54).



Obr. 52 Graf závislosti řezného momentu M_C na čase t z 1 experimentu.



Obr. 53 Graf závislosti řezného momentu M_c na čase t z 2 experimentu.



Obr. 54 Graf závislosti řezného momentu M_c na čase t z 3 experimentu.

Na těchto grafech můžeme pozorovat následující fáze:

A-B: Zapojení obráběcího stroje a přísun závitníku k obrobku.

B-C: Přisun nástroje do obrobku.

C-D: Výroba závitu.

D-E: Konec výroby závitu.

E-F: Revers (pro bezpečné vytažení závitníku z obrobku).

F-G: Vrácení závitníku do nulového bodu.

Technická informace, kterou jsem dostal od svého vedoucího profesora Píšky, říká, že rozsah řezného momentu se nachází v přípustném intervalu hodnot.

Pro kontrolu závitů bylo užito kalibru pro závit M10 (obr. 55). Princip použití tohoto kalibru je popsán v kapitole 3. Na základě výsledků měření je možno udělat závěr, že všechny závity odpovídají stanoveným požadavkům.



Obr. 55 Kalibr pro kontrolu závitů M10 z experimentu.

7.3 Výpočet ceny výroby jednoho závitu

V rámci praktické části diplomové práce byl proveden výpočet ceny výroby jednoho závitu vybraným závitníkem. Je to jeden z hlavních ukazatelů efektivity ve strojírenství.

Za pomoci následujícího vzorce se stanoví přímé náklady na zhotovení jednoho vnitřního závitu:

$$N_p = N_s + N_n = t_{AS} \cdot \frac{N_{sn}}{60} + \frac{C + N_2}{Q_z} = t_{AS} \cdot \frac{N_{sn}}{60} + \frac{C + t_{seř} \cdot \frac{N_{seř}}{60}}{Q_z} \quad (40)$$

kde: C [Kč] - cena obráběcího nástroje,

N_p [Kč] - přímé náklady na výrobu 1 závitu,

N_s [Kč] - náklady na strojní práci,

N_n [Kč] - náklady na obráběcí nástroj a jeho výměnu,

$N_{seř}$ [Kč.hod⁻¹] - hodinová sazba nákladů na výměnu a seřízení nástroje,

N_{sn} [Kč]	- náklady na jednu hodinu práce stroje,
N_2 [Kč]	- náklady na seřízení a upnutí nástroje,
Q_z [Kč]	- počet vyrobených závitů,
t_{AS} [min]	- čas automomatického chodu stroje,
$t_{seř}$ [min]	- doba seřízení a upnutí nástroje.

Tab. 6 Zadané parametry.

Popis		Hodnota
Cena závitníku	C	375 Kč
Náklady na 1 hodinu práce stroje	N_{SN}	870 Kč.hod ⁻¹
Hodinová sazba nákladů na seřízení a výmenu nástroje $N_{seř}$		205 Kč. hod ⁻¹
Počet závitů vyrobených závitníkem	Q_z	300
Čas automatického chodu stroje t_{AS}		0,25 min.
Doba upnutí a seřízení nástroje $t_{seř}$		5 min.

Technická informace, kterou jsem dostal od svého vedoucího profesora Píšky, říká, že jeden závitník může vyrobit přibližně 300 závitů, do té doby, dokud bude funkční.

Po dosazení konkrtních čísel jsou patrný přímé náklady na zhotovení jednoho vnitřního závitu vybraným závitníkem z následujícího vzorce:

$$N_p = N_s + N_N = t_{AS} \cdot \frac{N_{sn}}{60} + \frac{C + N_2}{Q_z} = 0,25 \cdot \frac{870}{60} + \frac{375 + 5 \cdot \frac{205}{60}}{300} = 4,94 \text{ Kč} \quad (41)$$

Cena výroby jednoho závitu závisí od počtu závitů, které je možno vyrobit jedním závitníkem najednou.

ZÁVĚR

V teoretické části této diplomové práce, vycházející ze studia dostupné odborné literatury, jsou popsány druhy závitů, způsoby výroby a kontroly závitů, druhy závitníků, druhy povlaků a řezných kapalin, analýza měrných řezných sil při řezání závitů a teoretický rozbor rozložení průřezu tlisky při aplikaci závitníků.

Experimentální část této diplomové práce pojednává o výrobě vnitřních závitů řzacím závitníkem při konstantních řezných podmínkách. Bohužel možnosti experimentální dílny byly omezené. V průběhu experimentu byl použit jeden zkušební řzací závitník, pro obrobek byla použita normalizačně žíhaná konstrukční ocel ČSN 12 050.1, která je nejlepší variantou pro výrobu vnitřních závitů řezáním. Pro chlazení byla použita následující řezná kapalina CIMSTAR 597 s koncentrací 9%. Výroba byla prováděna na portálovém obráběcím centru ZPS MCV 1210 vybaveném řídicím systémem SINUMERIK 840. Za pomoci měřicího systému byla obdržena data, z nichž byly sestaveny 3 grafy řezného momentu v závislosti na čase. Rozsah řezného momentu se nachází v přípustném intervalu hodnot.

Výsledky zkoušek dokázaly, že při zkouškách byla vybrána správná ocel, správné řezné podmínky, správný závitník, vhodná řezná kapalina i vhodný řzací závitník. Během dané diplomové práce byla vypočtena cena výroby jednoho závitu, což je jeden z hlavních parametrů ve strojírenství. Na základě výpočtu byla zjištěna cena výroby jednoho závitu 4,94 Kč. Bohužel možnosti dílny byly omezeny, zpřesnění nebo vyvrácení závěrů této práce vyžaduje další zkoušky různými závitníky i porovnání závitníků od různých výrobců. V této diplomové práci autor poprvé aplikoval své znalosti v oblasti digitálního zpracování dat získaných při řezných zkouškách. Práce nad touto problematikou zvýšila schopnosti autora v oblasti výroby závitů a vedla k širšímu seznámení s literaturou.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. KOCMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Technologie obrábění*. vyd. Brno: CERM, 2001, 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
2. ČEP, Robert Ph.D. *Skripta Technologie II* [online]. 2008 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: http://home1.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta_Technologie_II_2dil.pdf
3. VLACH Bohumil. *Technologie obrábění a montáží*. vyd. Praha: SNTL, 1990, 464 s.
4. KLEMENT, Milan. *Technická grafika* [online]. Univerzita Palackého, Olomouc, 2005 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: http://www.kteiv.upol.cz/uploads/soubory/klement/tg/Tg_prednasky.pdf
5. ZEMČIK, Oskar. *Nástroje a přípravky pro obrábění*. vyd. Brno: CERM, 2003, 193 s. ISBN 80-214-2336-6.
6. SVOBODOVÁ, Magdalena. *Spoje a spojovací součásti* [online]. Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola technická Brno, Sokolská 1, 2012, 13 s. [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: http://domes.spssbrno.cz/web/DUMy/SPS,%20MEC,%20CAD/VY_32_INOVACE_13-04.pdf
7. Strojní součásti, konstrukční prvky a spoje. *Šroubové spoje* [online]. 2009 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <https://coptkm.cz/portal/reposit.php?action=0&id=9684>
8. POSPÍŠIL, František. *Závity, šrouby, matice a příslušenství*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1975, 574 s.
9. KUBÍČEK, Miroslav. *Obrábění: Výroba závitů - shrnutí* [online]. Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola technická Brno, Sokolská 1, 2013, 43 s. [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: http://domes.spssbrno.cz/web/DUMy/STT,%20KOM/VY_32_INOVACE_19-18.pdf

10. POSPÍŠIL, František. *Zavitová a šroubová spojení*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1968, 263 s.
11. PALÁT, Hynek. *Druhy závitů* [online]. Střední škola průmyslová a umělecká, Opava, příspěvková organizace, Praskova 399/8, Opava, 746 01, 2011 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: http://www.sspu-opava.cz/UserFiles/File/sablony/SPS_II/VY_32_INOVACE_C-07-02.pdf
12. Technologie obrábění. *Měření a kontrola závitů* [online]. Střední škola strojírenská a elektrotechnická, Trnkova 2482/113, Brno, 20 s. [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: http://www.sssebrno.cz/files/ovmt/mereni_a_kontrola_zavitu.pdf
13. HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění - 1.část* [online]. VUT Brno, 2003 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
14. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. 2006. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
15. PUZOVIĆ, R., KOKOTOVIĆ, B., *Prediction of thrust force and torque in tapping operations using computer simulation*. FME Transactions. 2006. ISSN: 1451-2092.
16. FOREJT, Milan, Anton HUMÁR, Miroslav PÍŠKA a Libor JANÍČEK. *Experimentální metody: Syllabus pro magisterský studijní program 23-01-T Strojní inženýrství obor strojírenská technologie – obrábění – tváření, svařování - management, II.stupeň. 2.ročník magisterského studia* [online]. Brno: VUT v Brně, 2003 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/experimentalni_metody_cviceni_forejt_pi_ska_humar_janicek.pdf
17. KAYMAKCI, M., *Generalized modeling of metal cutting mechanics*. Thesis. Vancouver: The University of British Columbia, The Faculty of Graduate Studies. 2009, 123 s.
18. ODBOR TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ KOVŮ A PLASTŮ, ÚST, FSI VUT V BRNĚ. *Ocel 12 050* [online]. Brno: VUT v Brně, 2005, 6 s. [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/databaze_modelu_soubory/ocel_12050.3.pdf

19. TAJMAC-ZPS, A.S. *TAJMAC-ZPS, a.s.: Portálové obráběcí centrum MCV 1210* [online]. 2012 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://www.tajmac-zps.cz/cs/MCV-1210>

20. PERNIKÁŘ, J., TYKAL, M. *Strojírenská metrologie II.* vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-3338-8.

21. Strojírenská technologie. *Výroba závitů* [online]. Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola technická Brno, Sokolská 1. [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: http://www.sps-ko.cz/documents/STT_obeslova/Výroba%20závitů.pdf

22. PETŘKOVSKÁ, L., ČEPOVÁ, L. *Metrologie a řízení kvality: učební text.* vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-248-2771-1.

23. HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění - 3.část* [online]. VUT Brno, 2005 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/Dokoncovaci_a_nekonvencni_metody_obrabeni/TI_TO-3.cast.pdf

24. HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění - 2.část* [online]. VUT Brno, 2004 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-2cast.pdf

25. HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje* [online]. VUT Brno, 2006 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/mat_pro_rez_nastroje/materialy_pro_rezne_nastroje_v2.pdf

26. KOCMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění* 1. vyd Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 330 s. ISBN 978-80-7204-722-2.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
Ar	[-]	Argon
C	[-]	Uhlík
CNC	[-]	Computer Numerical Control
ČSN	[-]	Česká Státní Norma
CVD	[-]	Chemical Vapour Deposition
HSSE	[-]	Super High Speed Steel
ISO	[-]	International Organization for Standardization
N₂	[-]	Dusík
PVD	[-]	Physical Vapour Deposition
TiN	[-]	Nitrid Titanu
VBD	[-]	Vyměnitelná Břitová Destička

Symbol	Jednotka	Popis
a	[mm]	Řezná hloubka
A₅	[%]	Tažnost
A_D	[mm ²]	Jmenovitá plocha řezu
A_D	[mm ²]	Nedeformovaný průřez třísky
a_p	[mm]	Šířka záběru ostří
b	[mm]	Max. šířka třísky
C	[Kč]	Cena obráběcího nástroje
C_{F_c}	[-]	Konstanta,
C_{F_f}	[-]	Konstanta, vyjadřující vliv obráběného materiálu
C_{F_p}	[-]	Konstanta, vyjadřující vliv obráběného materiálu
d	[mm]	Velký průměr šroubu
D	[mm]	Velký průměr matice

d_1	[mm]	Vnější průměr závitu
D_1	[mm]	Malý průměr matice
d_2	[mm]	Vnitřní průměr závitu
d_2	[mm]	Střední průměr závitu šroubu,
D_2	[mm]	Střední průměr závitu matice
d_2	[mm]	Teoretický střední průměr závitu
d_3	[mm]	Malý průměr šroubu
d_r	[mm]	Průměr měřicího drátku
D_R	[mm]	Průměr předvrtané díry
D_S	[mm]	Střední průměr závitu
f	[mm]	Posuv na otáčku
F_c	[N]	Řezná síla
F_p	[-]	Posuvová síla
H_1	[N]	Nosná hloubka závitu
i_k	[mm]	Převod výměnnými ozubenými koly
i_p	[mm]	Převod posuvové převodovky
k_c	[MPa]	Měrná řezná síla
M	[mm]	Míra přes drátky
M_c	[Nm]	Řezný moment
n	$[\text{min}^{-1}]$	Otáčky nástroje
n_0	$[\text{min}^{-1}]$	Otačky obrobku
N_2	[Kč]	Náklady na seřízení a upnutí nástroje
N_N	[Kč]	Náklady na obráběcí nástroj a jeho výměnu
N_P	[Kč]	Přímé náklady na výrobu 1 závitu
N_R	[-]	Počet zubů v záběru
N_S	[Kč]	Náklady na strojní práci
$N_{seř}$	$[\text{Kč.hod}^{-1}]$	Hodinová sazba nákladů na výměnu a seřízení nástroje
N_{sn}	[Kč]	Náklady na jednu hodinu práce stroje

n_s	[min ⁻¹]	Otačky vodicího šroubu
P	[mm]	Stoupání
P_c	[W]	Řezný výkon
P_h	[mm]	Stoupání závitu
Q_z	[Kč]	Počet vyrobených závitů
R_m	[MPa]	Mez pevnosti
R_{p0,2}	[MPa]	Mez kluzu
s	[N]	Stoupání
s₀	[mm]	Stoupání obrobku
t	[mm]	Hloubka
t_{AS}	[min]	Čas automomatického chodu stroje
t_{seř}	[min]	Doba seřízení a upnutí nástroje
x	[mm]	Osová vzdálenost j-tého zubu
x_{F_c}	[-]	Vyjadřující vliv obráběného materiálu
x_{F_f}	[-]	Exponent, vyjadřující vliv šířky záběru ostří
x_{F_p}	[-]	Exponent, vyjadřující vliv šířky záběru ostří
y_{F_c}	[-]	Exponent, vyjadřující vliv posuvu na otáčku
y_{F_f}	[-]	Exponent, vyjadřující vliv posuvu na otáčku
y_{F_p}	[-]	Exponent, vyjadřující vliv posuvu na otáčku
z	[-]	Počet drážek
α	[°]	Vrcholový úhel závitového profilu
α_n	[°]	Normálový úhel čela
η	[°]	Úhel odvodu třísky (úhel stoupání šroubovice závitu)
κ_r	[°]	Sklon řezné části závitníku
ρ	[°]	Třecí úhel
τ_S	[°]	Smykové napětí ve střižné rovině
φ_n	[°]	Normálový úhel roviny stříhu

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Grafy závislosti řezného momentu M_c na čase t